

Alexi Seppälä

AVAUSNOUSUNPORAUSLAITTEEN PO- RAUSYKSIKÖIDEN VAIHDETTAVUUDEN SUUNNITTELU

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Lokakuu 2020

TIIVISTELMÄ

Alexi Seppälä: Avausnousunporauslaitteen porausyksiköiden vaihdettavuuden suunnittelu
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Lokakuu 2020

Tämä diplomityön tavoitteena oli avausnousunporauslaitteen porausyksiköiden vaihdettavuuden kehittäminen. Vaikka työn lähtökohtana olevan koneen suunnittelussa on huomioitu joitakin vaihdettavuuden kannalta oleellisia tekijöitä, eivät aiemmat ratkaisut riittäneet täyttämään tälle työlle asetettuja vaatimuksia.

Projektin hallinnan helpottamiseksi perehdyttiin tuotekehityksen prosessimallin valintaan ja systemaattisen suunnittelun malliin. Laitteen käyttötavan ymmärrystä vahvistettiin tutkimalla avausnousunporausmenetelmiä ja markkinoilla olevia porauslaitteita. Tätä osuutta voidaan käyttää myös uusien työntekijöiden perehdytykseen. Merkittävimmäksi haasteeksi osoittautui vaatimus ilman nosturia suoritettavasta porausyksikön vaihdosta. Projektin vaikutus ulottuu useisiin avausnousunporauslaitteen osiin niin mekaniikan, hydraulikan, sähköjärjestelmän kuin ohjelmistonkin kohdalla. Laajuuden vuoksi tässä työssä keskityttiin mekaniikan ja hydraulikan suunnitteluun.

Nosturin puute korvattiin hyödyntämällä koneen omia hydraulisia toimintoja, mikä aiempaan menetelmään verrattuna vaikeutti porausmoduulin kohdistamista kiinnitysrajapintaan. Tämän seurauksena porausmoduulille jouduttiin suunnittelemaan uusi säilytysteline, jonka mekaaninen ohjain helpottaa koneen asemointia telineeseen nähden. Myös kamera- ja kauko-ohjausmuutokseen varauduttiin. Vaatimusten kiristymisestä huolimatta vaihtoaikaa pystyttiin lyhentämään merkittävästi koneeseen lisätyn pikaliitinrajapinnan ja paremman mekaanisen rajapinnan ansiosta.

Avainsanat: Nousuporaus, liitosrajapinta, vaihdettavuus, suunnittelu, tuotekehitys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Aleksi Seppälä: Interchangeability engineering of slot raise boring machine's drilling modules

Master's thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Automation Engineering

October 2020

The goal of this master's thesis was to improve interchangeability of drilling modules for slot raise boring machine. Even though the existing design of the machine has taken some major interchangeability related things into account, the former solutions were not enough to comply with the new requirements.

R&D process chart selection and systematic design method were studied to make project management easier. Knowledge of slot raise borer usage was enhanced by studying slot raise boring methods and machines available on the market. This section may be used also to train new employees. The most challenging requirement turned out to be the lack of crane in drilling module changing process. This project covers several parts of slot raise boring machine's mechanics, hydraulics, electrical system and software. This thesis focused on design of mechanics and hydraulics because of the large size of total project.

Crane was replaced by using raise boring machine's own hydraulic movements, which made it more difficult to align drilling module and machine. New stand was needed for drilling module storage. Stand has integrated mechanical guide to lead the machine to right position. Some camera and remote control modifications were also prepared. Despite the more challenging requirements, the changing process became much shorter thanks to added hydraulic and electrical quick couplings and improved mechanical coupling.

Keywords: Raise boring, coupling, interchangeability, design, product development

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on ensisijaisesti dokumentaatio niistä suunnittelutyön vaiheista ja valinnoista, joita olen mekaniikkasuunnittelijana käynyt läpi Rhino 100 avausnousunporauslaitteen porausmoduulin parempaa vaihdettavuutta suunnitellessa. Edellä mainittu koneen uusi lisävarustelu, lyhyesti ”Plug’n’Drill” on pääpiirteittäin huomioitu poralaitteen aiemmassa suunnittelussa, mutta silti muutosta vaativien yksityiskohtien suuri määrä ylitti niin minut kuin kokeneemmatkin suunnittelijat. Perehdyin suunnittelutyötämme parhaiten vastaavaan suunnitteluprosessiin ja avausnousunporauslaitteen käyttöön, koska koin sen asiantuntemuksen parantamisen itselleni kaikkein hyödyllisimmäksi tulevia suunnittelutehtäviä ajatellen.

Asiakas ja ennen kaikkea koneen käyttäjä on erityisen tärkeää pitää mielessä laitetta suunniteltaessa, koska huonolla käytettävyydellä voi pilata hyvänkin tuoteidean. Varsinkin toistuvat ongelmat ja ikävät työvaiheet ärsyttävät käyttäjiä, jolloin koko laite saattaa heidän mielestään olla huono, vaikka kyseessä olisi vain huonosti suunnitellusta yksityiskohdasta. TRB-Raise Borersin asiakaslähtöinen toiminta kannusti pitämään tavoitteen korkeammalla kuin muiden valmistajien ratkaisussa, vaikka tehtävä oli haastava. Painavan porausmoduulin liittäminen vielä painavampaan koneeseen pelkillä käsityökaluilla toimitettujen laitteiden ratkaisut huomioiden karsi monia vaihtoehtoja pois. Varustelun testaaminen piti suorittaa muiden projektien ehdoilla, koska erillisiä prototyypejä ei voida valmistaa kalliista pienestä volyymistä tuotteesta. Tehtaalla ja asiakkaiden luona saatujen kokemusten perusteella lopputulokseen voidaan olla erittäin tyytyväisiä.

Haluan kiittää kaikkia työkavereita hyvin onnistuneesta projektista ja kannustuksesta diplomityön kanssa. Kiitos työn ohjaamisesta Janne Hämäläiselle, Seppo Tikkaselle, Kalevi Huhtalalle ja Petteri Multaselle. Kiitos luottamuksesta ja kiinnostavasta tehtävästä Jarko Salolle. Suuri kiitos myös vanhemmilleni ja Caritalle tuesta ja kaikesta mitä on vuosien mittaan tarvittu tämän tavoitteen toteutumiseen.

Tampereella, 28.10.2020

Alexi Seppälä

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUOTEKEHITYSPROSESSIN KULKU	3
2.1 Muutosten kustannukset kasvavat	3
2.2 Tuotekehityksen prosessimallin valinta	5
2.3 Systemaattinen suunnittelu	7
3. AVAUSNOUSUNPORAUS	21
3.1 Porausmenetelmät	21
3.2 Markkinoilla olevat laitteet	33
3.3 Poraustavan vaihto avausnousunporauslaitteissa	43
3.4 Porausmoduulin vaihdettavuuden kehittämistarve	44
4. RHINO 100:N JÄRJESTELMÄKUVAUS	47
4.1 Alustakone	49
4.2 Porausmoduuli	50
4.3 Apurunko	53
4.4 Tehonsyöttö	54
4.5 Vesijärjestelmä	54
4.6 Ohjausjärjestelmä	55
5. PORAUSMODUULIN VAIHDON SUUNNITTELU	56
5.1 Tavoitteet	56
5.2 Vaatimusmäärittely	57
5.3 Konseptisuunnittelu	59
5.4 Liitosrajapinnat	61
5.5 Porausmoduulin tuenta	69
5.6 Paikoitus	78
5.7 Hydraulikka	82
5.8 Vesijärjestelmä	84
5.9 Muutostarpeet jälkiasennuksessa	85
5.10 Irrotus ja kiinnitys	86
5.11 Käytettävyys	88
5.12 Parannetun vaihdettavuuden arviointi	88
6. YHTEENVETO	92
LÄHTEET	94

KUVALUETTELO

<i>Kuva 2.1 Muutosten tekeminen käy suunnitteluprosessin edetessä jatkuvasti kalliimmaksi (Vanhatalo 2012).</i>	4
<i>Kuva 2.2 Prosessimallin valinta projektin ominaisuuksien mukaan (Lehtonen et al. 2011 mukaillen Vanhatalo 2012).</i>	6
<i>Kuva 2.3 Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2008).</i>	8
<i>Kuva 2.4 Tuotteen saaminen markkinoille riittävän aikaisessa vaiheessa parantaa menestystä (McGrath 1992).</i>	9
<i>Kuva 2.5 Systemaattinen lähestymistapa (Pahl & Beitz 1986 mukaillen Vanhatalo 2012).</i>	11
<i>Kuva 2.6 Suunnitteluprosessi (Pugh 1991).</i>	12
<i>Kuva 2.7 Konseptien luonti (Ulrich & Eppinger 2008).</i>	14
<i>Kuva 2.8 Morfologinen matriisi suunnittelun työkaluna (Vanhatalo 2012).</i>	15
<i>Kuva 2.9 Yrityksen strategia ohjaa suunnittelemaan tuoterakenteita sellaisiksi, että ne tukevat liiketoimintaa (Mela et al. 2008, Vanhatalo 2012).</i>	17
<i>Kuva 2.10 Verifioinnilla ja validoinnilla varmistetaan, että tuote vastaa vaatimuksia ja täyttää asiakkaan odotukset (Vanhatalo 2012).</i>	19
<i>Kuva 3.1 Poikittaisessa pengerialuehinnassa tarvitaan paljon avausnousuja (Atlas Copco 2018).</i>	22
<i>Kuva 3.2 Louhoksen panostusreiät ja avausnousu (Atlas Copco 2018).</i>	23
<i>Kuva 3.3 Räjätetty louhoksen avaus (Atlas Copco 2018).</i>	24
<i>Kuva 3.4 Jora-menetelmässä hissi vaatii kulkuyhteyden ylemmälle tasolle (Hakapää et al. 2011 s. 128).</i>	25
<i>Kuva 3.5 Alimak-menetelmässä hissikisko kiinnittyy nousun seinään (Hakapää et al. 2011, s. 129).</i>	26
<i>Kuva 3.6 Pitkäreikäkoneella tehtävän avauksen räjäytysjärjestys (Hakapää et al. 2011, s. 128).</i>	27
<i>Kuva 3.7 Perinteisellä nousuporauksella usean tasovälin poraaminen tehostaa työtä (Suomen Sandvik Oy 2001).</i>	29
<i>Kuva 3.8 Nousuporauksen teräpään toimintaperiaate (Sandvik Mining and Construction Oy 2013, s. 31).</i>	30
<i>Kuva 3.9 Ylöspäin porattaessa pilottireikä ja avarrus tehdään työntämällä (TRB- Raise Borers Oy 2019).</i>	31
<i>Kuva 3.10 Box hole -menetelmällä nousuporattu reikä alhaalta kuvattuna (TRB- Raise Borers Oy 2019).</i>	32
<i>Kuva 3.11 Sandvik DL421 (Sandvik Mining and Construction Oy 2020a).</i>	34
<i>Kuva 3.12 Perinteinen Rhino-nousuporakone porauspaikalla (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	36
<i>Kuva 3.13 Redpath Redbore 30 on varustettavissa hydraulisella tuennalla (Redpath Mining Inc. 2020).</i>	38
<i>Kuva 3.14 AMV 1720RK on omalla alustalla liikkuva box hole-kone (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	39
<i>Kuva 3.15 Weller 750 Boxhole (Byrncut Australia 2020).</i>	40
<i>Kuva 3.16 Epiroc Easer L (Epiroc Ab 2020).</i>	41
<i>Kuva 3.17 Rhino 100 (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	42
<i>Kuva 3.18 Maanalainen huoltohalli (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	45
<i>Kuva 3.19 Tavallista suurempi tunneliperä Ruotsissa (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	45
<i>Kuva 3.20 Rhino 100 maanpäällisessä huoltotilassa Ghanassa (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	46
<i>Kuva 4.1 Rhino 100:n tärkeimmät osat 1/2 (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	47
<i>Kuva 4.2 Rhino 100:n tärkeimmät osat 2/2 (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	48

<i>Kuva 4.3 Kaivoskäyttöön valmistettu versio John Deere 1910G:stä (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	49
<i>Kuva 4.4 Yläkätisen porausmoduulin halkileikkaus.</i>	51
<i>Kuva 4.5 Apurunkoon kiinnittyy suurin osa alustakoneen takarungolle tulevista osista.</i>	53
<i>Kuva 5.1 Porausmoduulin ja sivukallistusrungon välinen korvake kohdistetaan kartioiden avulla.</i>	61
<i>Kuva 5.2 Nykyinen ruuvirajapinta on liian kapea momenttiavaimen käyttöön ilman jatkovartta.</i>	62
<i>Kuva 5.3 Uudessa rajapinnassa (oik.) ruuvien etäisyys korvakkeeseen on kasvanut ja rajoitinpala on siirretty pois ruuvirajapinnan tieltä.</i>	63
<i>Kuva 5.4 Pyöräkuormaajan työvälinekiinnikkeessä kiinnitysrajapinta on pystyssä ja massakeskipisteen sijainti helpottaa kiinnitystä (Volvo Construction Equipment Finland Oy 2020 (vas.), Saxtorp Trading Ab 2020 (oik.)).</i>	64
<i>Kuva 5.5 Kaivinkoneessa kauhankiinnitys on hyvin samankaltainen kuin pyöräkuormaajassa, vaikka rajapinta ei ole pystyssä (Al-Bahar 2020).</i>	64
<i>Kuva 5.6 Porausmoduulin asennus nosturilla.</i>	69
<i>Kuva 5.7 Porausmoduulien yhteisiksi tukipisteiksi soveltuvat kohdat.</i>	70
<i>Kuva 5.8 Lattiatukien pysyminen telineen päällä varmistetaan reunuksella ja lukituskynsillä.</i>	71
<i>Kuva 5.9 Porausmoduulin tukemiseen valittiin pikakytkentäkouralla varustettu vanttiruuvi.</i>	72
<i>Kuva 5.10 Porausmoduulin telinevaihtoehdot lattiatuilla (vas.) ja maatuilla (oik.) tapahtuvassa nostossa.</i>	73
<i>Kuva 5.11 Telineen tukipinta (kelt.) ja vaadittu tukipinta 5° kaatokulmalla (vihr.).</i>	76
<i>Kuva 5.12 Porausmoduulin, kiinnitysrajapinnan muutososien ja kahden telineen pakkaaminen 20 jalan merikonttiin.</i>	77
<i>Kuva 5.13 Pieni sivusiirto onnistuu maatukien ja sivukallistuksen avulla.</i>	79
<i>Kuva 5.14 Apurungon lukituskartiot rajoittavat kallistusta.</i>	80
<i>Kuva 5.15 Ohjain määrittää apurungon sijainnin telineeseen nähden.</i>	81
<i>Kuva 5.16 Hydraulikan varajärjestelmän lisääminen nykyiseen tehoyksikköön (TRB-Raise Borers Oy 2019).</i>	84
<i>Kuva 5.17 Törmäys telineeseen.</i>	86
<i>Kuva 5.18 Porausmoduulin tuenta ja irrotus.</i>	87
<i>Kuva 5.19 Ajo toisen porausmoduulin luokse.</i>	87
<i>Kuva 5.20 Ensimmäinen asiakkaalle toimitettu Plug'n'Drill-kone (Barmenco 2019).</i>	90

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CAN-väylä	Controller Area Network, koneissa ja järjestelmissä käytetty tiedon- siirtoväylä
CSL-malli	Company Strategic Landscape, yrityksen tuotestrateginen malli
ITH	In the hole, iskevä poralaite, jossa vasara sijaitsee porakangen rei- änpuoleisessa päässä
NPD-vaihe	New Product Development, uuden tuotteen varsinainen suunnittelu- vaihe

1. JOHDANTO

Tämä diplomityö tehdään TRB-Raise Borers Oy:lle, joka on erikoistunut nousuporausmenetelmää käyttävien kaivoskoneiden suunnitteluun ja valmistukseen. 27 henkeä työllistävä yritys toimii Tampereella Sandvikin tuoteyhtiönä. Nousuporakoneiden valmistus on aloitettu jo 1970-luvun alussa osana Tampellan toimintaa.

Vuonna 2012 ensiesitellyn avausnousunporauslaitteen, vuodesta 2017 toimitettuja kolmannen sukupolven malleja on myyty jo kuudelle eri mantereelle. Maanalaisten louhosten ensimmäisen räjäytyksen valmistelussa käytettävä kone on markkinoiden ainoa, joka kykenee siirtymään porauspaikkojen välillä kuljettaen kaiken porausprosessissa tarvittavan kaluston mukanaan. Kone tarvitsee operointiin ja siirtoon vain yhden työntekijän, minkä lisäksi hyvä porausnopeus, sujuva logistiikka ja turvallisuus tekevät koneesta erittäin kilpailukykyisen muiden valmistajien koneisiin nähden.

Koneen modulaarinen rakenne on suunniteltu siten, että poraustapaa voidaan muuttaa vaihtamalla poraussuuntakohtaiset osakokonaisuudet, joista merkittävin on koneen perässä sijaitseva porausmoduuli. Työn tarkoituksena on selvittää mitä muutoksia tarvitaan porausmoduulin vaihtamiseksi ilman nykyisin vaadittua suurta nosturia ja miten vaihtoaikaa voitaisiin uusista vaatimuksista huolimatta lyhentää. Vaihdeavuus ilman huoltohallin resurssien tarvetta kasvattaisi lisävarusteena myytävän varustelun kysyntää ja saattaisi jopa luoda uuden markkinan sellaisten asiakkaiden keskuuteen, joiden tarvitsee säännöllisesti käyttää useita poraustapoja, mutta joiden ei kannata hankkia erillisiä koneita tähän käyttöön.

Porausmoduulin vaihdettavuuden parantamiseksi suunnitellaan uusi toimintaperiaate ja sen vaatimat muutokset. Työtä pohjustetaan perehtymällä tuotekehitysprosessiin, avausnousunporausmenetelmiin, laitevalmistajien tarjontaan ja suunnittelun kohteena olevan koneen toimintaan. Tämä tuotekehitysprojekti ulottuu monille suunnittelun osa-alueille, joista oma osuuteni keskittyy mekaanisten ja hydraulisten ominaisuuksien tarkempaan tutkimiseen ja tarvittavien muutosten suunnitteluun. Näiden lisäksi havainnoin myös muilta suunnittelijoilta vaadittuja muutostoimenpiteitä. Suunnitteluosassa selvitetään vaihtoprosessille asetetut vaatimukset ja jaetaan suunnittelutehtävät uuden toiminnallisuuden mukaisiin osaongelmiin, joista oman tehtäväni kannalta tärkeimpiä ovat lii-

tosrajapinnat ja niiden kohdistaminen, sekä porausmoduulien tuenta. Toteutettavien ratkaisuvaihtoehtojen valinnasta vastaa pääsuunnittelijana TRB-Raise Borsers:lla toimiva ohjaajani, Janne Hämäläinen. Käytännössä jokaisella suunnittelijalla on merkittävä osuus oman suunnittelutehtävänsä ratkaisujen muodostamisessa. Tuotekehitysprojektin dokumentoinnin lisäksi tätä diplomityötä voidaan käyttää myös yrityksen uusien työntekijöiden perehdyttämiseen.

2. TUOTEKEHITYSPROSESSIN KULKU

Tuotekehitystä tarvitaan kaikkialla, missä osaaminen ja ideat halutaan jalostaa helpommin myytävään muotoon, eli tuotteiksi. Hyvä idea ei kuitenkaan johda mihinkään ilman toimivaa tuotekehitysprosessia, eikä hyvälläkään tuotteella ole merkitystä ilman, että asiakas maksaa siitä. Tuotekehityksen on siis oltava liiketoimintalähtöistä. Tuotekehityksen tehtävä tiivistyy hyvin Vanhatalon (2012) kysymyksessä: ”Miten asiakkaan arvo (mitä asiakas haluaa) toteutetaan niin, että omat arvot toteutuvat?”

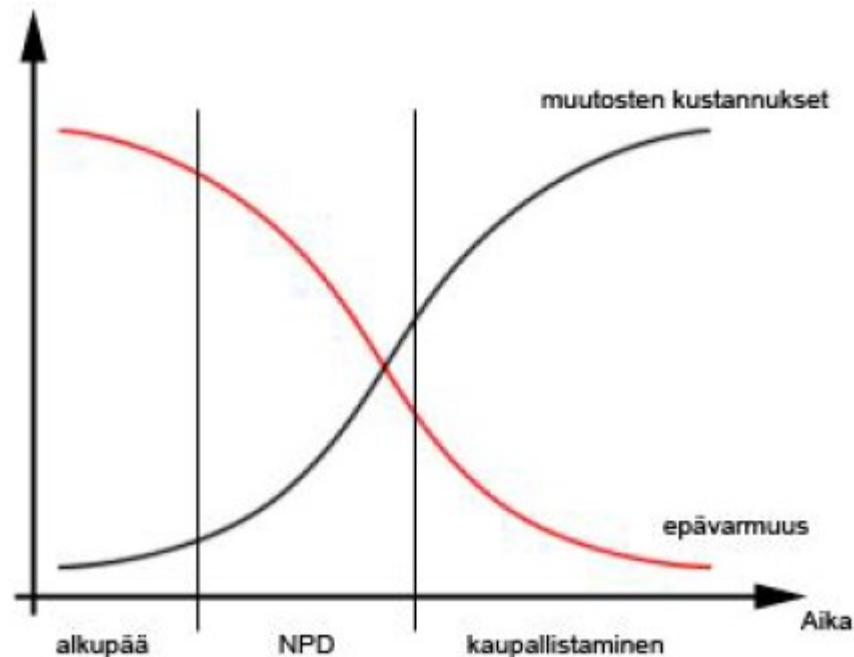
Toimiva tuotekehitysprosessi auttaa tuotekehityksen resurssien ja päämäärien hallinnassa, eli tuotekehitystä on johdettava sen tehokkaan toiminnan takaamiseksi. Asiakkaan ja yrityksen oman liiketoiminnan vaatimukset on selvitettävä, jotta suunnittelulla on riittävät lähtötiedot projektin suorittamiseen. Asiakkaiden vaatimuksia määritellessä joudataan myös määrittelemään itse asiakas, eli rajataan tuotteen kohderyhmä. Kohderyhmän määrittely on käytännössä välttämätöntä, sillä minkään tuotteen ei voida kuvitella soveltuvan aivan kaikille. On myös muistettava, että tuotteen suunnittelussa tehtyjen ratkaisujen vaikutukset ulottuvat tuotteen koko elinkaaren ajalle, eli aina tuotekehityksen alusta, käytöstä poistetun tuotteen kierrätykseen.

2.1 Muutosten kustannukset kasvavat

Tuotekehitysprosessien yhteinen ominaisuus on projektin alkuvaiheen suuri epävarmuus, kun ratkaistavaa ongelmaa yritetään vasta hahmottaa keräämällä lähtötietoja. Tässä vaiheessa mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot ovat vasta ajatuksia, eikä niitä ole välttämättä muutettu selkeästi esitettävään muotoon tai vertailtu keskenään. Idean tuotteistamiselle nähdään kuitenkin mahdollisuus markkinoilla. Alussa tutkitaan idean toteuttamiseen tarjolla olevaa teknologiaa ja selvitetään tuotannon kyvyt ja rajoitteet tuotteen valmistettavuutta silmällä pitäen. Myös markkinoinnin ja huollon huomioiminen tuotekehityksen aikana auttaa vähentämään myöhempien vaiheiden haasteita.

Suunnitteluprosessissa on siis tärkeää ottaa eri toimijoita mukaan riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta jokaisen osapuolen osaaminen ja rajoitteet voidaan huomioida ennen

suuren työmäärän tekemistä. Suunnitteluprojektin edetessä kustannuksia kertyy jatkuvasti ja muutosten tekeminen käy kuvan 2.1 osoittamalla tavalla jatkuvasti kalliimmaksi.



Kuva 2.1 Muutosten tekeminen käy suunnitteluprosessin edetessä jatkuvasti kalliimmaksi (Vanhatalo 2012).

Erityisesti alun hahmotteluvaiheessa ja myöhemmässä NPD-vaiheessa (New Product Development), eli varsinaisessa suunnitteluvaiheessa muutosten tekeminen tarkoittaa pääasiassa jo tehdyn työn muuttumista osittain tarpeettomaksi, kun joudutaan muuttamaan kehitettävää tuotetta vaatimuksia vastaavaksi. NPD-vaiheen lopussa ja varsinkin kaupallistamisvaiheessa tehdyissä muutoksissa ja korjauksissa saatetaan menettää työn lisäksi myös materiaalista omaisuutta, minkä lisäksi esimerkiksi korvaukset, lähetys- ja matkakulut, sekä maineen kärsiminen aiheuttavat tappioita yritykselle.

Alun epävarmuus johtuu osaltaan lukuisista avoimista kysymyksistä ja vielä siinä vaiheessa määrittelemättömistä vaatimuksista. Myös NPD-vaiheen suunnittelupäätösten välillä on lukuisia riippuvuuksia, jolloin yhden kohdan muuttaminen saattaa aiheuttaa muutoksia moniin muihinkin kohtiin. Näin ollen on luonnollista, että kaikkia tarvittavia muutoksia ei voida tehdä alkuvaiheessa, vaikka se olisi selvästi edullisinta. Lisäksi esimerkiksi NPD-vaiheen loppuun sijoittuvassa tuotteen testauksessa saattaa ilmetä kehitystarpeita, joihin joudutaan reagoimaan muutostöillä. Myös muut ulkopuoliset toimet,

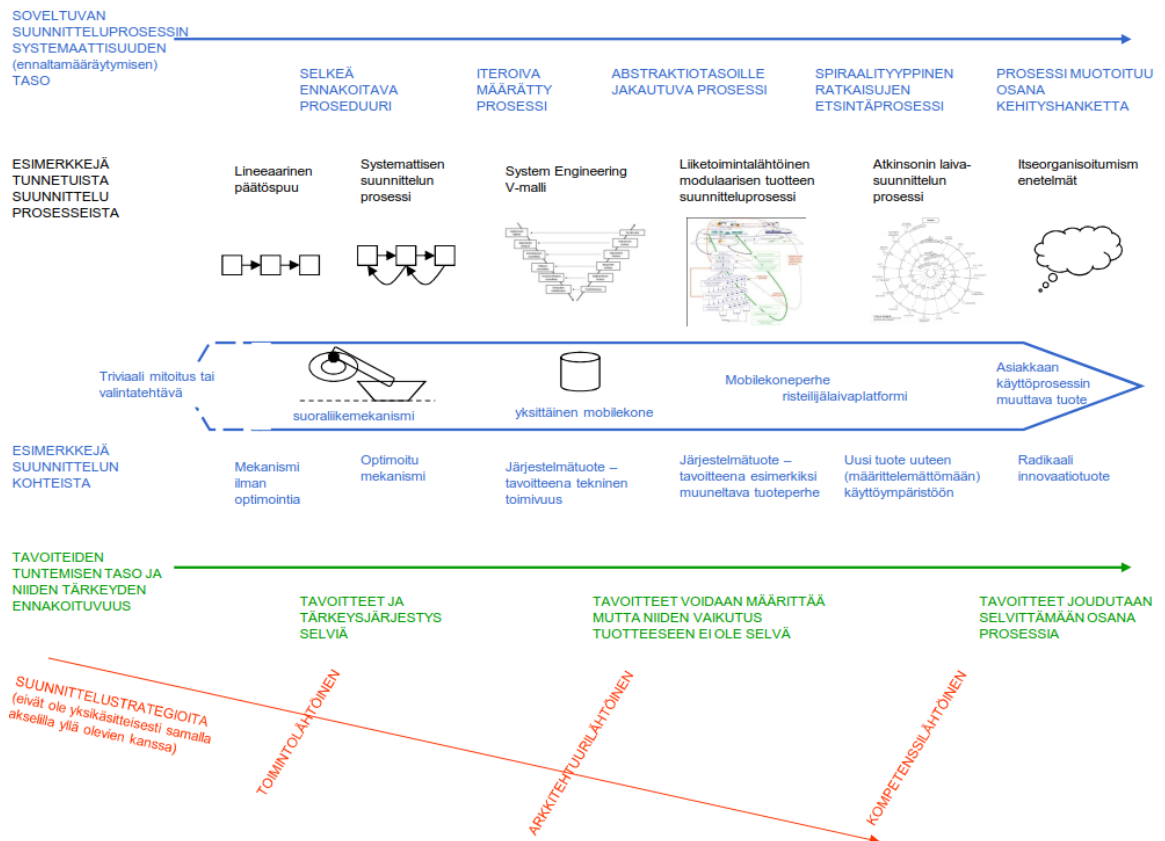
kuten lakimuutokset ja toimitusketjun ongelmat saattavat johtaa muutostarpeisiin hyvin-kin myöhäisessä vaiheessa.

2.2 Tuotekehityksen prosessimallin valinta

Nykyaikaiset tuotekehitysprojektit ovat hyvin monitahoisia kokonaisuuksia, joihin osallistuu useita henkilöitä ja yrityksiä. Informaation kulku toimijoiden välillä on siksi avainasemassa projektin onnistumisen kannalta. Kommunikaation selkeyttämiseksi on luotu erilaisia prosessimalleja kuvaamaan tuotekehitysprosessin vaiheiden välisiä riippuvuuksia. Vanhatalon (2012) määritelmän mukaan suunnitteluprosessin malli on kuvaus loogisessa järjestyksessä suoritettavista suunnittelutehtävistä, joiden avulla luodaan vaadit-

tava tietämys suunnittelun kohteesta ja dokumentoidaan tarvittava tieto tuotteen elinkaaren vaiheista. Prosessimallin avulla tuotekehitysprojektiin osallistuvat tahot ymmärtävät siis paremmin vastuualueensa ja eri tehtävien väliset vuorovaikutukset.

Sopivan prosessimallin valintaan vaikuttaa moni tekijä. Tärkeimpinä tekijöinä voidaan kuvan 2.2 mukaan pitää tuotekehitysprojektin kokoa ja ennakoitavuutta. Tiivistäen voitaisiin todeta, että yksinkertaiseen selkeään projektiin riittää yksinkertainen malli ja monimutkaisempiin suuriin projekteihin tarvitaan monimutkaisempia malleja.



Kuva 2.2 Prosessimallin valinta projektin ominaisuuksien mukaan (Lehtonen et al. 2011 mukailen Vanhatalo 2012).

Tämän diplomityön suunnittelutehtävä liittyy tiettyyn pienen volyymin sarjatuotteena valmistettavaan mobilekoneeseen, joka on laitteena yrityksen suunnittelijoille ennalta tuttu. Koneen käyttötapa ja kilpailevat ratkaisut eivät kuitenkaan ole uudemmmille suunnittelijoille kovin tuttuja, eikä tuotekehitysprojektin kaltaista toiminnallisuutta ole toteutettu yrityksen tuotteissa aikaisemmin. Uuden toiminnallisuuden toteuttaminen vaatii varsinaisessa suunnitteluvaiheessa työpanosta usealta suunnittelun osa-alueelta, sillä koneen toimintaan liittyy mekaniikan lisäksi hydraulikkaa, sähköisiä toimintoja ja ohjelmisto,

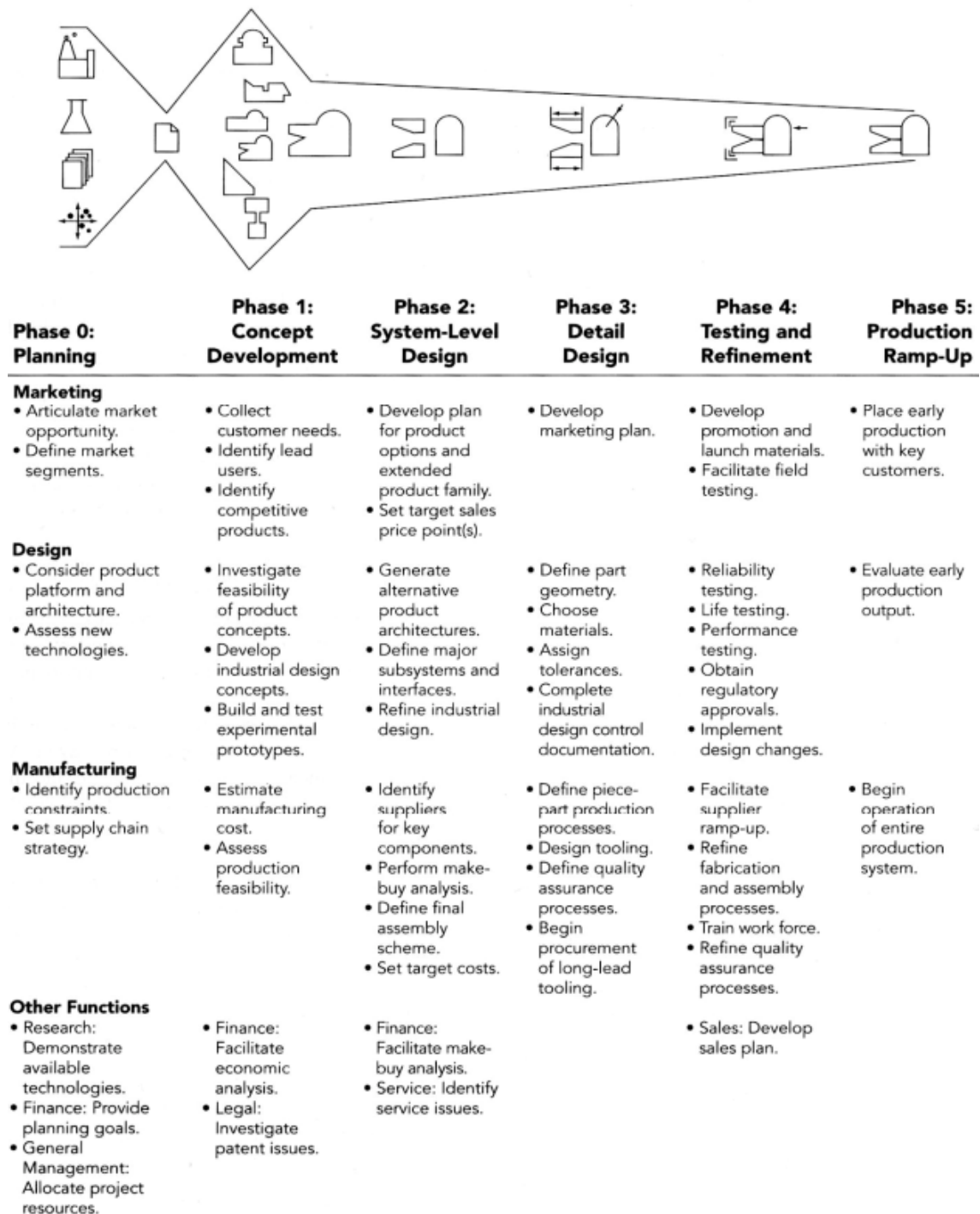
jotka kaikki on saatava toimimaan tuotekehitysprojektin mukaisten uusien ominaisuuksien kanssa.

Kuvan 2.2 perusteella voidaan todeta, että diplomityön mukainen lisäominaisuuden kehitysprojekti vastaa parhaiten kuvan keskivaiheilla kuvattuja ominaisuuksia. Kokemukset yrityksen aiemmista tuotekehitysprojekteista ovat osoittaneet, että tiiviisti yhdessä työskentelevä henkilöstö suosii melko suoraviivaista ja järjestelmällistä suunnittelutapaa. Suuri osa projekteista perustuu aiempien tuotteiden muokkaamiseen ja paranteluun kunakin asiakkaan toiveiden mukaisesti, minkä vuoksi sarjatuotteillakin on paljon yksittäisprojektien ominaisuuksia. Näillä perusteilla päädytään tutustumaan tarkemmin systemaattisen suunnittelun prosessiin.

2.3 Systemaattinen suunnittelu

Ulrich ja Eppinger (2008) erittelevät systemaattisen tuotekehitysprosessin vaiheet hyvin kattavasti kuvassa 2.3. Tuotekehitysprosessin tärkeimmille toimijoille, eli myynnille,

suunnittelulle ja valmistukselle on annettu omat tehtävänsä jokaisessa prosessin vaiheessa. Lisäksi on yksittäisiä täydentäviä tehtäviä, jotka liittyvät pääasiassa hallintoon ja talousasioihin.

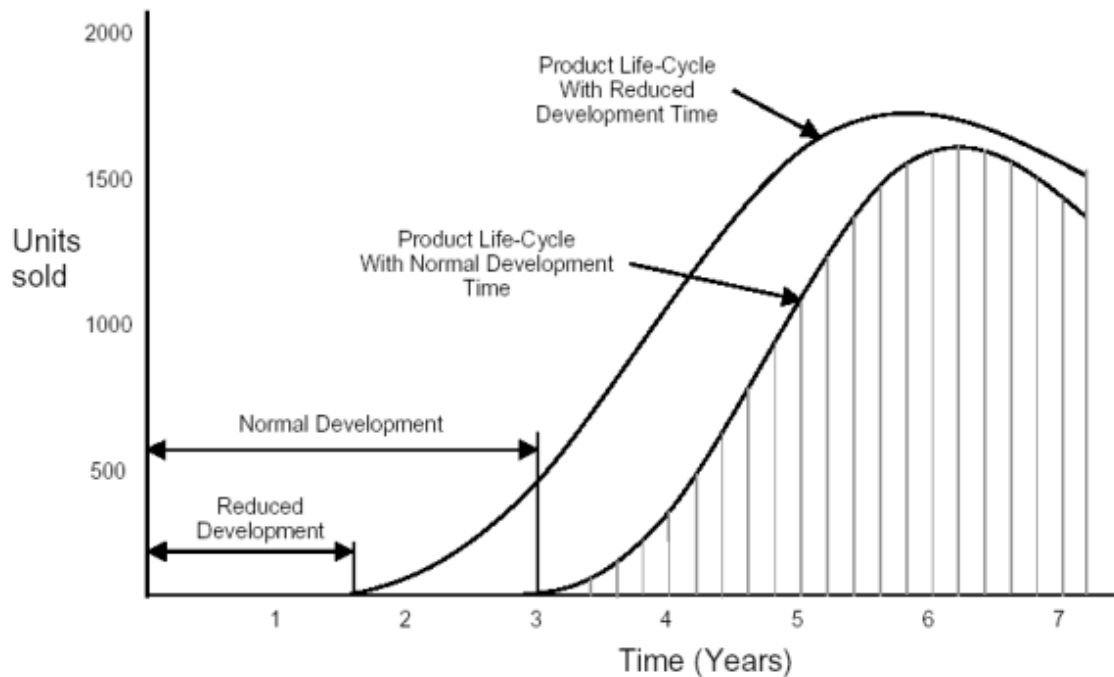


Kuva 2.3 Tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2008).

Tuotekehitysprosessin alkuvaihe

Tuotekehitysprosessi käynnistyy markkinoiden tutkimisella, jolloin pyritään tunnistamaan markkinoilta mahdollisuus uudelle tuotteelle. Markkinamahdollisuuksien tunnistaminen

riittävän aikaisessa vaiheessa on erittäin tärkeää, jotta voidaan saavuttaa etulyöntiasema kilpailijoihin nähden. Kun markkinamahdollisuus tunnistetaan ajoissa, voidaan tuotekehitys tehdä huolellisesti ja siitä huolimatta saada tuote markkinoille ennen kilpailuvia tuotteita. Aikaisemmin julkaistun tuotteen markkinaosuus saadaan suuremmaksi kuvan 2.4 esittämällä tavalla alun vähäisen kilpailun ansiosta ja näin ollen tuotteen elinkaari markkinoilla saattaa muodostua pidemmäksi. Myös uuden tuoteversion kehittämiseen päästään kilpailijoihin nähden aikaisemmassa vaiheessa, jolloin tuoteperheen seuraavatkin versiot saavat kilpailijoihin nähden paremman lähtökohdan. Tuotteen julkaisuajankohtaa voidaan toisaalta aikaistaa myös tehostamalla tuotekehitystä esimerkiksi varaamalla enemmän resursseja, johtamalla projektia paremmin tai tinkimällä tuotekehitysprosessin vaiheista. Viimeksi mainittu menetelmä saattaa kuitenkin kostautua, mikäli ongelmia joudutaan korjaamaan myöhemmissä vaiheissa.



Kuva 2.4 Tuotteen saaminen markkinoille riittävän aikaisessa vaiheessa parantaa menestystä (McGrath 1992).

Suunnittelun tehtävänä tuotekehityksen alkuvaiheessa on hahmotella tuotealustaa, eli kehitettävän tuotteen vakio-osia, sekä liityntöjä muihin osiin ja tuotteen ulkopuolelle. Lisäksi mietitään tuotearkkitehtuuria, joka käsittää tuotealustan lisäksi myös tuotekehityksen myöhemmissä vaiheissa suunniteltavia osia. Suunnittelun ja tutkijoiden työtä vaaditaan myös mahdollisten uusien teknologioiden kartoituksessa. Uuden teknologian hyödyntäminen saattaa olla joidenkin tuotteiden kohdalla jopa yksi merkittävimmistä teki-

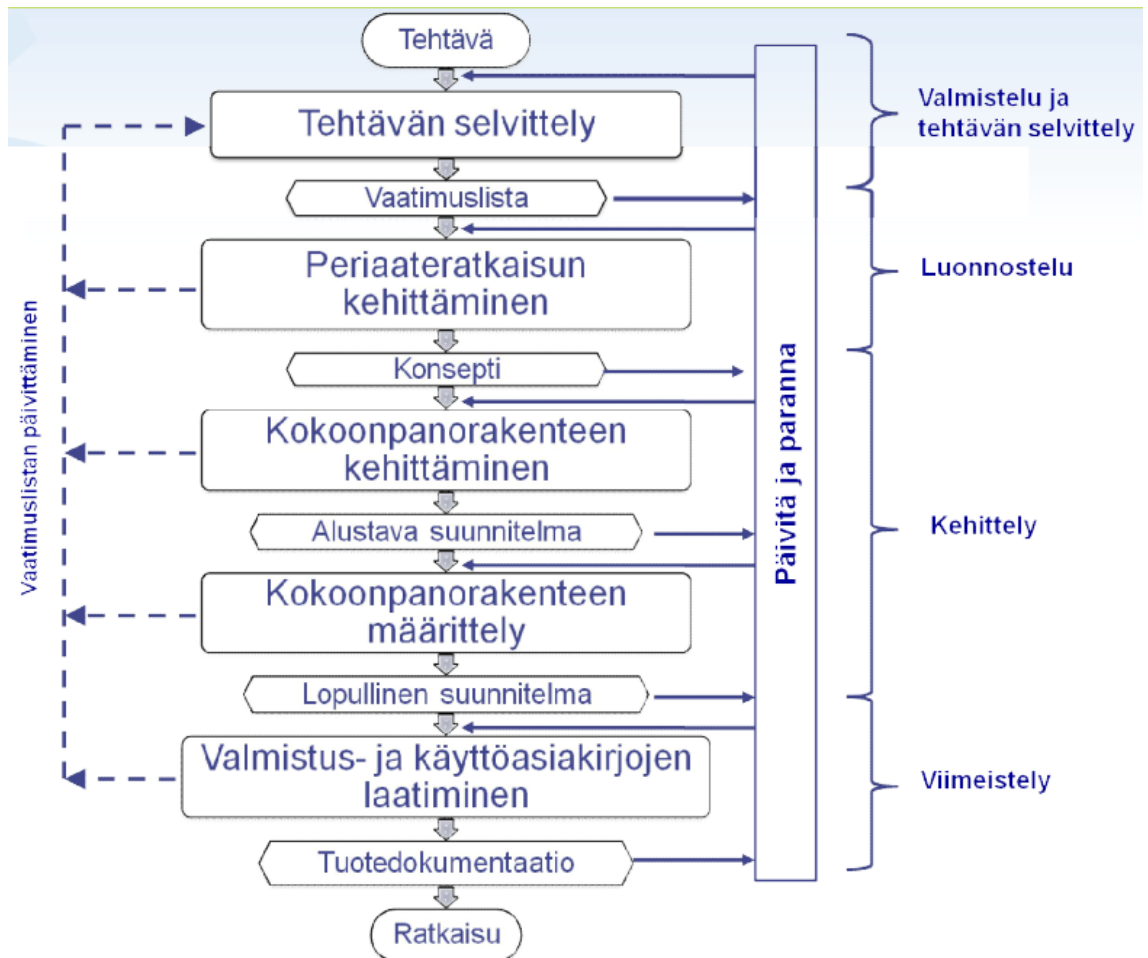
jöistä tuotekehitysprosessin käynnistämisessä. Esimerkiksi akkuteknologioiden kehittyminen vauhdittaa merkittävästi uusien sähköautojen tuotekehitystä, kun toimintamatkaa voidaan pidentää ja sen seurauksena saavutetaan uusia potentiaalisia markkinoita.

Valmistuksen osalta on selvitettävä tuotannon kapasiteetin ja tuotantomenetelmien soveltuvuus uuden tuotteen tekemiseen, sekä tarvittaessa alihankinnan tai omien tuotantoinvestointien mahdollisuudet. Valmistuksella on usein merkittävä vaikutus kustannuksiin, minkä vuoksi se on syytä huomioida koko projektin menestysedellytyksiä arvioitaessa.

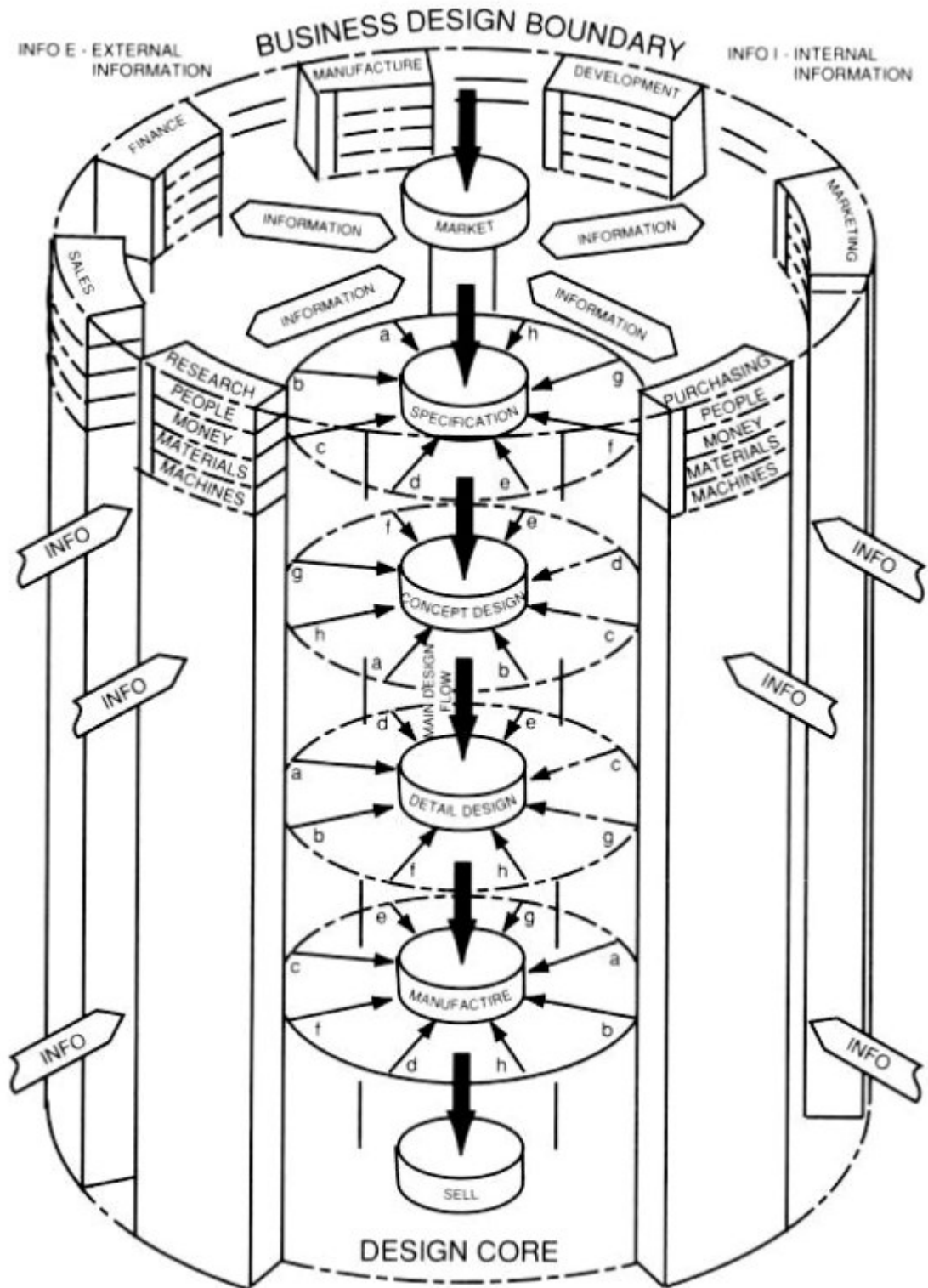
Yrityksen johdon tehtävänä on alkuvaiheessa tuotekehitysprojektin tarvitsemien resursien tarjoaminen ja projektin tavoitteiden määrittely. Kun projektin lähtötiedot on kerätty, ja projektin jatkaminen on todettu kannattavaksi, voidaan siirtyä valmistelusta ja selvityksistä tuotteen luonnosteluun, eli konseptisuunnitteluun. Tämän työn toteutuksessa päästiin suoraan konseptisuunnitteluun, sillä edellä kuvatut alkutoimenpiteet oli jo tehty yrityksen puolesta. Projektin alkuselvitysten jälkeen on vielä hyvä tarkastella käytettävää prosessimallia, sillä tietojen tarkentuessa osataan hahmottaa paremmin projektin koko ja ratkaisumahdollisuuksien suoraviivaisuus.

Kuvia 2.3 ja 2.5 vertaamalla havaitaan, että Ulrichin ja Eppingerin (2008), sekä Pahlin ja Beitzin (1986) esittämät tuotekehitysmallit ovat hyvin samankaltaisia suunnittelun vaiheiden jaossa. Myös kuvassa 2.6 esitetty Pughn (1991) suunnitteluprosessimalli nostaa esille samat vaiheet, eli alkumäärittelyn, konseptisuunnittelun, tarkemman suunnittelun, valmistuksen ja myynnin. Sekä Ulrich ja Eppinger että Pugh erittelevät samat tuotekehi-

tysprosessin toimijat, eli myynnin, suunnittelun, tuotannon, johdon ja tutkimuksen. Tämän perusteella ei vaikuta olevan suurta merkitystä kenen prosessimallia seurataan myöhemmissä tuotekehitysvaiheissa.



Kuva 2.5 Systemaattinen lähestymistapa (Pahl & Beitz 1986 mukaillen Vanhatalo 2012).



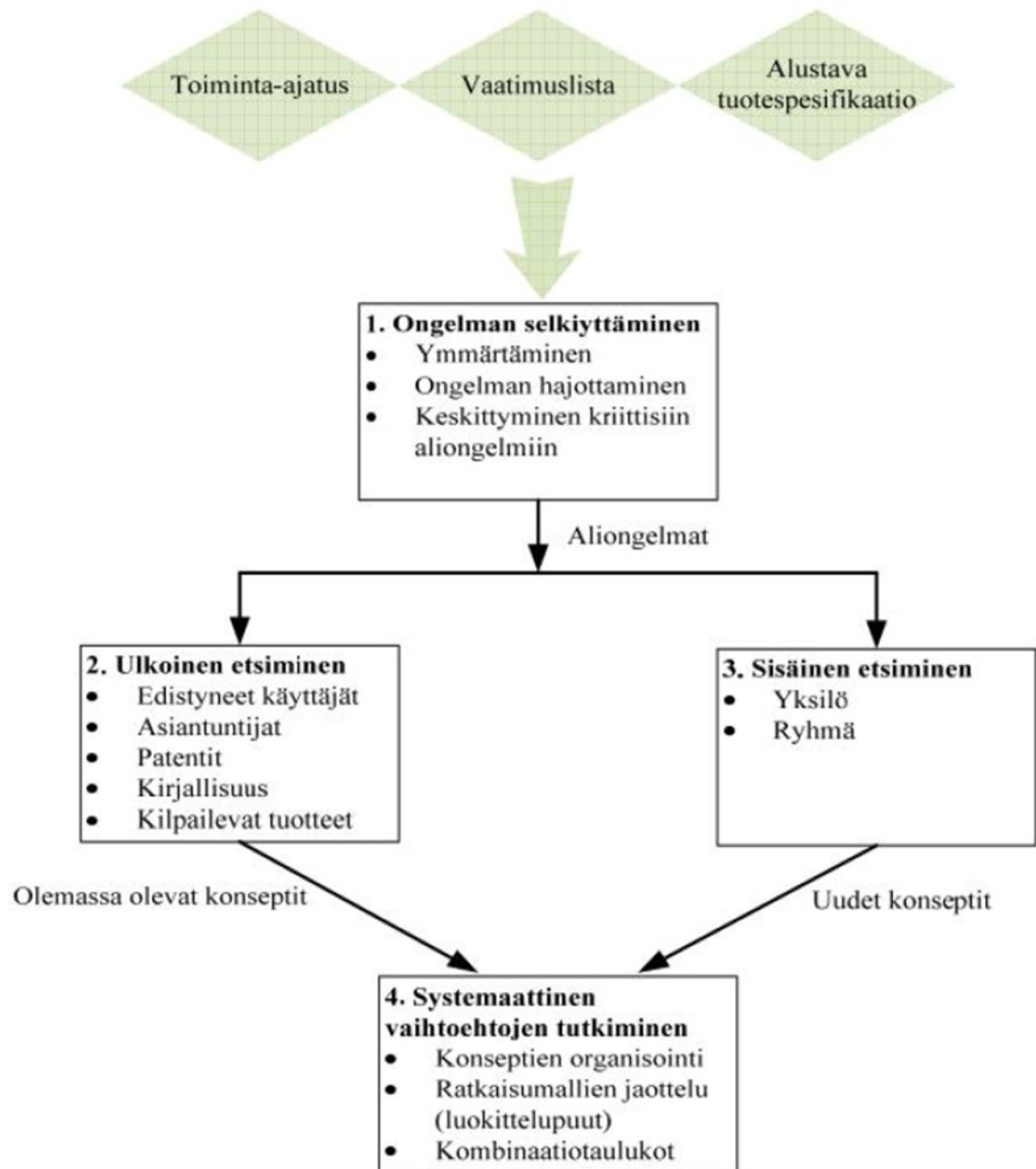
Kuva 2.6 Suunnitteluprosessi (Pugh 1991).

Konseptisuunnittelu

Luonnosteluvaiheessa tehdään yksi tuotekehitysprojektin tärkeimmistä tehtävistä, eli selvitetään tuotteen vaatimukset. Monesti asiakkaiden vaatimuksia joudutaan tulkitsemaan ja muotoilemaan uudelleen, sillä heillä ei ole välttämättä tarvittavaa asiantuntemusta ja kokonaiskuvaa tuotekehitysprosessin vaatimusmäärittelyä varten. Oikeanlainen vaatimus määrittelee tuotteen ominaisuuden kautta positiivisella lauseella mitä tuote tekee (Vanhatalo 2012). Vaatimuksissa ei siis esitetä teknisiä ratkaisuja, vaan keskitytään tuotteelta vaadittujen ominaisuuksien lopputuloksiin. Vanhatalon (2012) mukaan vaatimusmäärittelyä on hyvä järjestää ja vaatimuksille on hyvä luoda todennettavissa olevia tavoitteita ja raja-arvoja. Näiden avulla voidaan kehityksen myöhemmissä vaiheissa todentaa vaatimusten toteutuminen ja samalla helpottaa tuotteen vertaamista kilpailijoihin. Vaatimuksia voidaan tarvittaessa priorisoida painokertoimien avulla, jotta tärkeimmät vaatimukset saavat riittävästi huomiota, eikä ratkaisuvaihtoehtojen valintaa tehdä väärin perustein.

Vaatimusten ja alussa hahmoteltujen ideoiden perusteella suunnittelu tuottaa luonnosteltuja ratkaisuvaihtoehtoja, eli konsepteja. Niiden kehittämistä helpottaa kuvassa 2.7 esitetty johdonmukainen lähestymistapa, jossa suunnitteluongelma jaetaan erillisiin osaongelmiin. Näihin voidaan etsiä ratkaisuja olemassa olevista tuotteista, tai keksiä kokonaan uusia tapoja. Kriittisten osaongelmien etsiminen ja niihin keksittyjen osaratkaisujen

yhdistely auttaa toimivien ratkaisukombinaatioiden löytämisessä. Osaratkaisujen miettiminen helpottaa myös ideointia, koska silloin suunnittelija ei ala niin helposti miettiä miksi joku vaihtoehto ei toimi tai on muuten kelvoton ratkaisuksi.



Kuva 2.7 Konseptien luonti (Ulrich & Eppinger 2008).

Tässä työssä jouduttiin aluksi käyttämään merkittävästi aikaa kallionporausmenetelmien ja aiemmin keksittyjen tuotteiden tutkimiseen. Syynä tähän oli vähäinen pohjatieto suunnittelun kohteena olevan laitteen käyttötavasta ja kilpailijoista. Aikaisempi suunnittelukokemus laitteen osalta oli rajoittunut pienempiin osaongelmiin, jolloin käyttötavan hahmot-

tamiselle ei ollut vastaavaa tarvetta. Kirjallisuuden ja konevalmistajien materiaalien lisäksi myös yrityksen kokeneemmat työntekijät auttoivat kokonaisuuden hahmottamisessa.

Konseptien luomisessa voidaan käyttää työkaluna morfologista matriisia, jossa kuhunkin osaongelmaan keksitään useita vaikutusperiaatteita, eli ratkaisuvaihtoehtoja. Kuvassa 2.8 osaongelmat on jaettu riveille ja niiden vaikutusperiaatteet esitetty sarakkeissa. Kaikki kombinaatiot eivät luonnollisesti voi olla toimivia, vaan taulukosta on valittava sopivia vaikutusperiaatteista koostuvia vaikutusrakenteita, eli ratkaisukombinaatioita. Vaikutusrakenteiden on toteutettava vaatimuslistan reunaehdot, jotta ne voidaan hyväksyä jatkotarkasteluun. (Vanhatalo 2012)

PÄÄTOIMINTO/-PROSESSI :		3. KÄSITTELEE KAPPALETTA					
OSA-KOK.	OSATOIMINTO /-PROSESSI	1	2	3	4	5	6
Ohjaimet/Näyttö/Ohjausjärjestelmä/Toimilaitteet/Mekaniikka/Anturit	3.2 Tartu kappaleeseen						
	3.4 Mittaa puristusvoima	Venymäliuska-anturi	Voimamomentti-anturi	Pietsosähköinen voima-anturi	Induktiivinen voima-anturi		
	3.5 Säädä puristusvoima	Servoventtiilillä ohjattu sylinteri	Proportionaali-venttiilillä ohjattu sylinteri	Askelmoottori ja hammasvaihde	Karmoottori	Servomoottori ja hammasvaihde	
	3.6 Mittaa kappaleen liukuma	Luistoanturi	Potentiometri-anturi - suoraviivainen tai pyörivä liike	Valosähköinen pulssianturi - takometri - inkrementti-anturi - absoluuttianturi			
	3.8 Nosta kappaletta hitaasti	Hammaspyörä ja hammastanko	Liikuruuvi ja tasavirtamoottori				

Kuva 2.8 Morfologinen matriisi suunnittelun työkaluna (Vanhatalo 2012).

Vaatimuslistan reunaehtojen tarkka seuraaminen vaikuttaa konseptivaiheessa haastavalta, sillä joidenkin vaatimusten toteutumista saattaa olla hyvin vaikea arvioida ennen

perusteellisempaa suunnittelua. Ulrichin ja Eppingerin (2008) mukaan valinta suotuisien konseptien joukosta voidaan tehdä seuraavilla tavoilla:

- Ulkopuolinen päätös
- Tuotearkkitehti
- Intuitio
- Äänestys
- Plussat ja miinukset
- Prototyyppien valmistus, testaus ja vertailu
- Päätösmatriisit, joiden valintakriteerit sovitaan ennakkoon

Konseptivaiheessa voidaan toteuttaa myös selvityksiä ja tutkimuksia eri vaihtoehtojen valmistuskustannuksista ja markkinapotentiaaleista, sekä selvittää laki- ja patenttikysymyksiä, jotta osataan välttää yllättäviä kustannuksia ja tarpeetonta kehitystyötä.

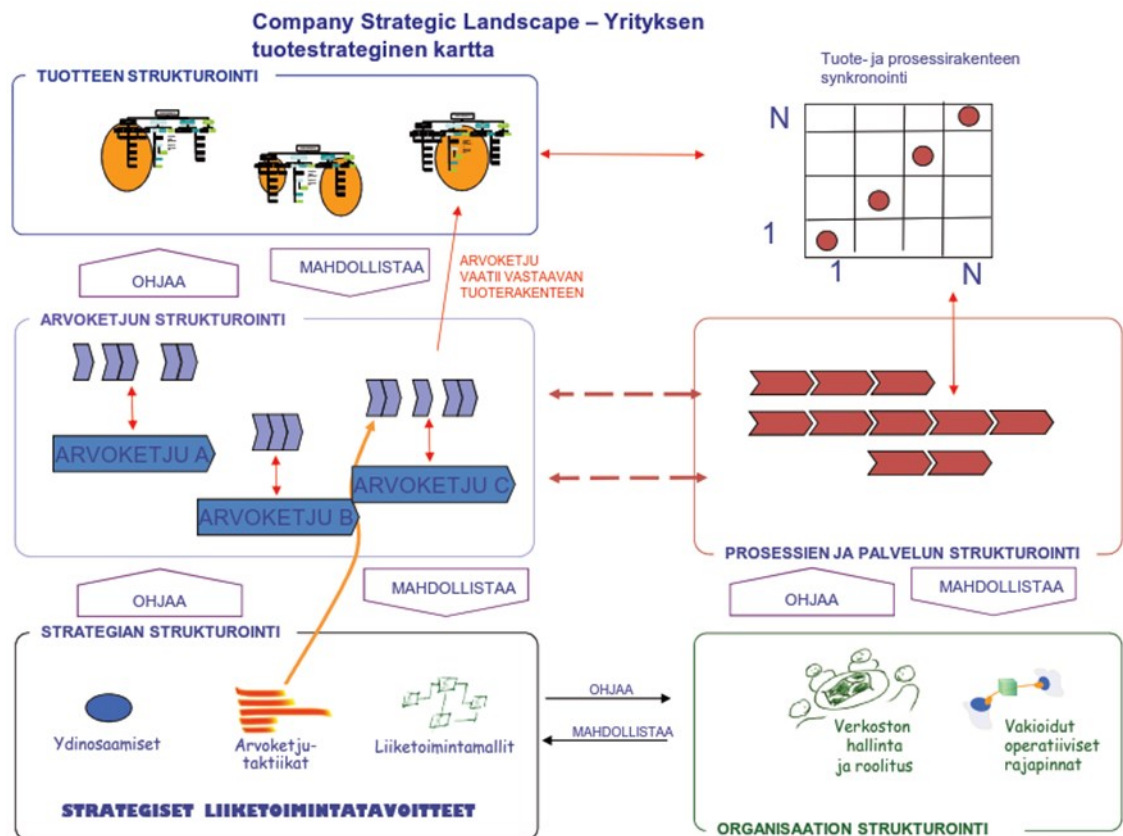
Kehittely

Järjestelmäsuunnitteluun siirryttäessä aletaan suunnitella tarkemmin yhtä tai useampaa valittua konseptia. Muotojen ja materiaalien hahmottaminen, sekä vaikutusperiaatteiden kehittäminen kohti yhtenäistä fyysistä konstruktiota muuttavat konseptin alustavaksi suunnitelmaksi. (Vanhatalo 2012) Konseptin valintaan vaikuttaa olevan käytössä hyvin kirjavia käytäntöjä. Osa Ulrichin ja Eppingerin (2008) esittämistä tavoista on hyvin kattavasti perusteltuja ja tieteellisen oloisia, kun toiset puolestaan perustuvat enemmän intuitioon ja yksittäisiin henkilöihin päätöksentekijöinä. Myös parhaan konseptin valintahetki vaihtelee konseptisuunnittelun puolelta jopa melko pitkälle kehittelyvaiheen puolelle. Tuotekehitysprosessin ennakoitavuus ja tuotteen tyyppi vaikuttavat paljon siihen, kuinka pitkään vaihtoehtoisia ratkaisuja voidaan suunnitella rinnakkain ennen valinnan tekemistä.

Tarkempaan suunnitteluun siirtyminen edellyttää tuotteen rakenteen laatimista. Tuotekehitysprosessin toimijoiden mukanaolo on tässäkin kohdassa tärkeää, sillä rakennetta voidaan hahmottaa hyvin monista eri näkökulmista. Myynnin näkökulmassa on otettava huomioon eri asiakasryhmät, joilla saattaa olla erilaisia tavoitteita. Joku asiakas voi olla valmis maksamaan reilun hinnan saadakseen kaikki tarjolla olevat ominaisuudet ja toinen pyrkii lähtökohtaisesti edullisimpaan ratkaisuun. Joidenkin asiakkaiden kohdalla investoinnin kilpailutus saattaa vaatia edullista hintaa alkuvaiheessa, mutta myöhemmin voidaan sijoittaa lisää uusien ominaisuuksien saamiseksi. Myynnin toivoman joustavan

lisävarustelun toteuttaminen vaatii kuitenkin panostusta jo rakenteen suunnitteluvaiheessa. Myös yrityksen strategia niin hinnoittelussa kuin asiakkaiden valinnassakin määrittää tuotteen rakennetta ja esimerkiksi sitä, mitä toiveita ja joustavuuksia tuoterakenteeseen kannattaa sallia. Tuotannon näkökulmasta halutaan usein erillään valmistettavia osakokonaisuuksia, eli moduuleja, joita voidaan helposti yhdistää myöhemmissä kokoonpanovaiheissa. Tämä tehostaa tuotantoa ja lisää usein myös työskentelyn turvallisuutta. Myynnin toivoma asiakaskohtainen joustavuus puolestaan aiheuttaa helposti häiriöitä tuotantoon, mikä aiheuttaa vastakkainasettelun myynnin ja tuotannon toiveiden välillä. Hyvällä tuoterakenteen suunnittelulla pyritään minimoimaan näiden ristiriitojen vaikutuksia. Jotkin toimijat, kuten traktorivalmistaja Valtra ovat kokeneet parhaaksi ratkaisuksi menetelmän, jossa tuotantolinja tuottaa vähemmillä vaihtoehdoilla varustettuja perustuotteita ja lisävarusteluun erikoistunut osasto tarvittaessa purkaa tiettyjä komponentteja asentaakseen asiakkaan toivomat erikoisvarusteet (Valtra Oy 2020).

Kuvassa 2.9 on esitetty CSL-malli (Company Strategic Landscape), eli yrityksen tuotestrateginen malli on kehys liiketoimintatavoitteiden mukaisen tuoterakenteen luomiseen.



Kuva 2.9 Yrityksen strategia ohjaa suunnittelemaan tuoterakenteita sellaisiksi, että ne tukevat liiketoimintaa (Mela et al. 2008, Vanhatalo 2012).

Strategiset liiketoimintatavoitteet ohjaavat ja rajoittavat muiden lohkojen välisiä suhteita. Strategia ja tuoterakenne määrittelevät yhdessä mahdollisuudet lisäarvon muodostukseen tuotteen elinkaaren aikana. (Mela et al. 2009) Jos rakenne on toteutettu sopivasti ja yritys niin haluaa, voidaan myydä esimerkiksi jälkikäteen tehtäviä varusteita, lisäpalveluja, huoltoa ja varaosia, tai vaikka päivityspaketteja. Kaikkiin tuotteisiin runsas jälkimarkkinointi ei kuitenkaan sovi, jolloin yritys voi valita strategiakseen uusiin tuotteisiin keskittymisen. Esimerkiksi kodinkoneissa jälkimarkkinointia ei juurikaan ole, vaan pääpaino on uusien tuotteiden myynnissä. Varsin toisenlainen taktiikka on jälkimarkkinointiin painottuminen. Rocla Solutions Oy:n mukaan trukkeja valmistavan Roclan liikevaihdosta yli puolet tulee jälkimarkkinoinnista (Korpinen 2017). Rocla osoittakin, että jälkimarkkinointi ei välttämättä ole pelkästään asiakassuhteen ylläpitoa seuraavaan laitetoimitukseen saakka, vaan myös merkittävä liiketoimintamahdollisuus. Jotkut yritykset saattavat myydä tuotteensa hyvinkin pienellä katteella, jos siten saadaan sitoutettua asiakas ostamaan parempikatteisia jälkimarkkinatuotteita ja -palveluita. Arvoketjuja on siis hyvinkin erilaisia. Tärkeintä on kuitenkin kiinnittää huomiota siihen, että yrityksen tavoitteet ja tuoterakenteet tukevat toisiaan mahdollisimman hyvin.

Työmäärältään valmistettavan tuotteen kehittälyvaihetta hallitsee osien ja järjestelmien tarkempi suunnittelu. Suunnittelutyötä tehdään pääsääntöisesti suunnitteluohjelmistojen avulla, jolloin tehdyn työn dokumentointi on todennäköisesti aiempia vaiheita standardimuotoisempaa ja paremmin arkistoitua. Monien suunnittelutyökalujen hyödyntäminen vaatii kuitenkin paljon aikaa, minkä vuoksi niiden käyttö liian aikaisessa vaiheessa saat-
taa hidastaa suunnittelutyötä ja viedä keskittymisen liian pieniin yksityiskohtiin. Hyvin määritetty rakenne ja rajapinnat nopeuttavat suunnittelutyötä vähentämällä muutoksista aiheutuvia iteraatioita, eli uudelleen suunnittelua. Myös pääkomponenttien toimittajien, sekä oman valmistuksen ja ostetun tuotannon väliset valinnat auttavat vähentämään epävarmuutta ja helpottavat suunnittelupäätösten tekoa. Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että talouden vaihtelut vaikuttavat merkittävästi joidenkin komponenttien toimitusaikoihin. Näiden komponenttien tunnistaminen, sekä suunnittelu- ja tilauspäätösten tekeminen riittävän aikaisessa vaiheessa on äärimmäisen tärkeää tuotteen markkinoille saattamisessa. Päätösten teossa ei siis kannata viivytellä.

Tuotteen valmistaminen edellyttää yksityiskohtaista suunnittelua, jossa osien tarkka geometria, materiaalit ja toleranssit valitaan ja dokumentoidaan tuotannon vaatimaan muotoon. Näiden määrittämiseen vaaditaan usein laskuja, mallinnusta ja jopa testausta, jotta voidaan varmistua tuotteen toimivuudesta. Dokumentointi on perinteisesti paperille tulostettavia standardien mukaisia kaavio-, valmistus- ja kokoonpanokuvia. Dokumentointi kuormittaa suunnitteluresursseja runsaasti suunnittelun loppuvaiheessa, minkä vuoksi

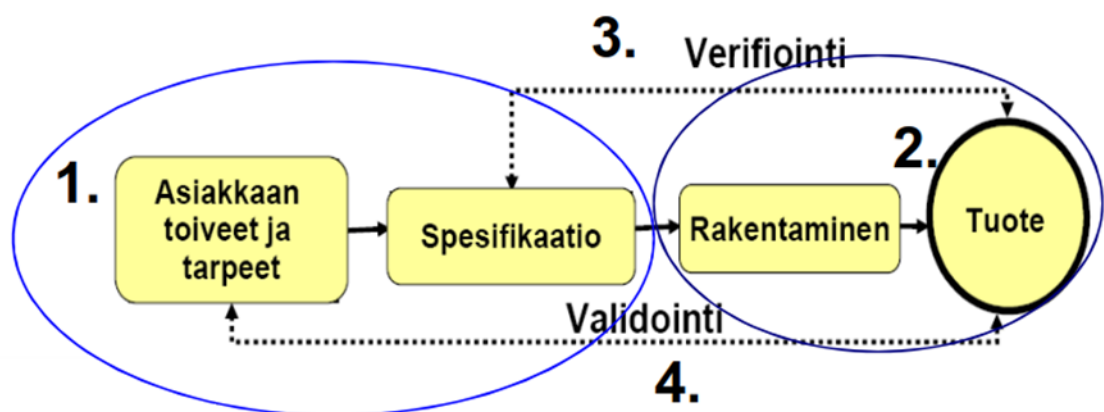
osa yrityksistä hyödyntää 3D-mallinnusta valmistustiedon välittäjänä. Toisaalta dokumentointivaihe koetaan hyvänä tarkastuskerroksena, jolloin suunniteltua tuotetta tarkastellaan hieman eri näkökulmasta ja huomataan siten helpommin virheitä.

Tuotteen suunnittelun ja dokumentoinnin lisäksi myös valmistaminen dokumenttien mukaan edellyttää suunnittelua ja tuotannon valmistelua. Valmistusmenetelmien mukaiset tuotantoresurssit, eli koneet ja työvoima on saatava käyttöön oikeaan aikaan. Koneet on varustettava vaadituilla työkaluilla, jotka on tarvittaessa suunniteltava ja valmistettava. Tuotteen laadunvalvonta on myös järjestettävä asianmukaisella tavalla

Viimeistely

Prototyypin kokoonpanon valmistuttua tuote on testattava oikean toiminnallisuuden ja mitoituksen, sekä laadun varmistamiseksi. Testauksessa ilmenneiden vikojen ja parannusehdotusten perusteella tehdään suunnitteluun tarvittavat muutokset. Myös standardien ja vaatimusten mukaiset hyväksynnit on hankittava viimeistään testausvaiheessa. Testaus- ja hyväksyntävaihe voi vaatia hyvinkin paljon aikaa ja taloudellisia panostuksia, mikäli hyväksyminen edellyttää paljon byrokratiaa, tai esimerkiksi testattavan tuotteen rikkomista standardoidussa testiympäristössä.

Tuotteen toimivuuden ja hyväksyntöjen lisäksi testausvaiheessa tarkastetaan, että tuote vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Projektin alkuvaiheessa määritettyjen vaatimusten tavoite- ja vähimmäisarvojen perusteella voidaan arvioida tuotekehityksen onnistumista ja tuottaa tärkeää dataa esimerkiksi markkinointimateriaalien luomista varten. Edellä kuvattua tehtävää kutsutaan kuvan 2.10 mukaisesti verifiointiksi.



Kuva 2.10 Verifiointilla ja validoinnilla varmistetaan, että tuote vastaa vaatimuksia ja täyttää asiakkaan odotukset (Vanhatalo 2012).

Validoinnissa puolestaan esitellään tuote asiakkaalle, joka päättää haluaako hän tuotteen. Verifiointin ja validoinnin tulosten ollessa positiivisia, voidaan todeta tuotekehityksen onnistuneen. Kasvavien muutuskustannusten vuoksi verifiointia ja validointia onkin hyvä tehdä jo suunnitteluvaiheessa, esittelemällä asiakkaalle vaatimusmäärittelyä ja tuotteita sekä arvioimalla vaatimusten toteutumista.

Tuotantoversion lukitsemisen jälkeen käynnistetään osien valmistus ja tilaukset, koulutetaan tuotantohenkilöstöä ja lopulta aloitetaan tuotteen kokoonpano. Tuotannon alkuvaihetta on syytä seurata tarkasti ja tarvittaessa on puututtava epäkohtiin, jotta voidaan varmistaa tuotteen laatu jo ensimmäisistä yksilöistä lähtien. Tuotantovaiheessa ilmenee usein myös parannusehdotuksia, jotka kannattaa kirjata ylös jatkokehitystä varten. Tuotantomäärä ja tuotteen hintataso vaikuttavat merkittävästi siihen, tehdäänkö tuotantoversiosta koekappaleita, vai myydäänkö ensimmäinen kappale suoraan asiakkaalle. Diplomityön kohteena oleva kaivosporakone ja sen yksittäiset optiotkin ovat niin kalliita, sekä tuotantomäärät niin pieniä, että koekappaleita ei tehdä. Tämä lisää osaltaan suunnittelun onnistumistarvetta heti alusta alkaen.

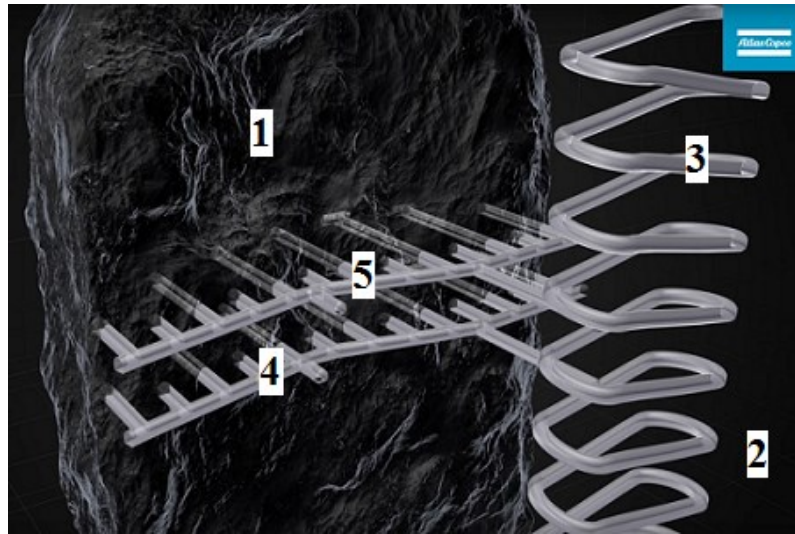
3. AVAUSNOUSUNPORAUS

Kaivostoiminta on maailmanlaajuista yritystoimintaa, mikä asettaa konevalmistajille haasteita erilaisten standardien, turvallisuusmääräysten, käyttöolosuhteiden, louhintatapojen ja asiakastoiveiden huomioinnissa. Kaivoksen perustamisvaiheessa tehdyt valinnat saattavat vaikuttaa jopa koko kaivoksen käyttöajan. Malmiesiintymän koko ja muoto vaikuttavat merkittävästi käytettäviin menetelmiin ja siten myös esiintymän hyödyntämisen kannattavuuteen. Markkinoilla olevat laitteet ovat usein asiakasta varten räätälöityjä, minkä vuoksi suunnittelussa on usein huomioitava myös aiemmin toimitettujen laitteiden ratkaisut. Maanalaisessa louhinnassa malmin irrotus on monivaiheinen prosessi, joka vaatii useita erikoiskoneita tarvittavien työvaiheiden suorittamiseen määrätystä järjestyksessä. Avausnousunporauslaite on oleellinen osa tämän prosessin tehostamisen ja turvallisuuden lisäämisen kannalta.

3.1 Porausmenetelmät

Nykyaikaisissa maanalaisissa louhintamenetelmissä malmin irrotus tehdään pääasiassa poraus-räjäytys-menetelmällä, jossa kallioon porataan pienihalkaisijaisia reikiä panostusta varten. Reiät porataan määrätyn kuvion mukaisesti, jotta kiven irtoamista voidaan tehostaa räjäytysten ajoituksella. (Hakapää et al. 2011, s. 99–122) Malmiksi sanotaan kuvassa 3.1 näkyvää mineraaliesiintymää, joka on riittävän rikas taloudellisesti hyödynnettäväksi. Liian vähän mineraaleja sisältävä sivukivi erotellaan louhinnan yhteydessä

ennen jalostusta mahdollisimman tarkasti ylimääräisten tuotantokustannusten välttämiseksi.

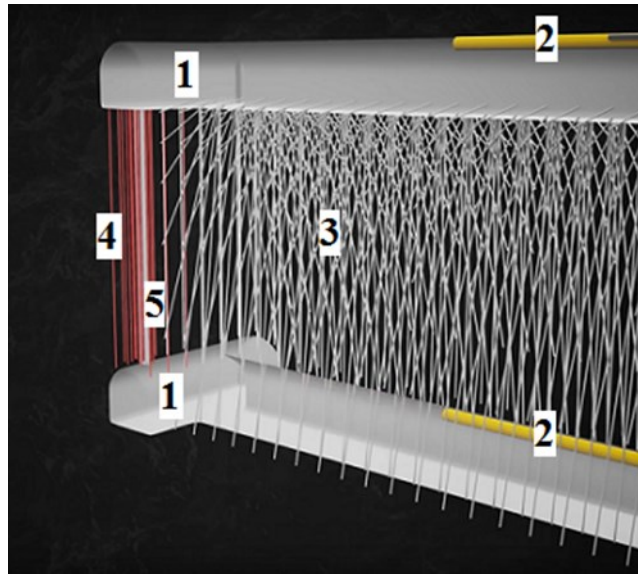


Kuva 3.1 Poikittaisessa pengperlouhinnassa tarvitaan paljon avausnousuja, (1) malminio, (2) sivukivi, (3) ramppi, (4) alempi operointitaso, (5) ylempi operointitaso (Atlas Copco 2018).

Louhittavan esiintymän muoto, kalliolaatu, malmin arvo, ympäristövaatimukset ja käytävissä oleva kalusto vaikuttavat merkittävästi louhintatapaan (Hakapää et al. 2011, s.100–101). Kuvassa 3.1 on esitetty poikittainen pengperlouhintamenetelmä, joka on yksi välitasolouhinnan sovelluksista. Pengerlouhinta ja erityisesti kuvassa esitetty poikittainen menetelmä sisältävät paljon louhoksen avauksia ja ovat siten erityisesti avausnousunporaukseen kehitettyjen laitteiden päämarkkinakohteita.

Maanalaisessa kaivostoiminnassa tarvittavia tunneleita tehdään pääsääntöisesti lyhyissä pätkissä poraus-räjäytys-menetelmällä, jolloin tunneliperästä irtoava kiviaines pääsee siirtymään jo tehdyn tunnelin suuntaan. Malmin irrotus kuvan 3.2 mukaisessa

pitkäreikäkoneita käyttävissä louhintamenetelmissä tapahtuu räjäyttämällä päällekkäisten tunnelien tasovälejä, jolloin irrotus on paljon tehokkaampaa, kuin tunnelin teossa.

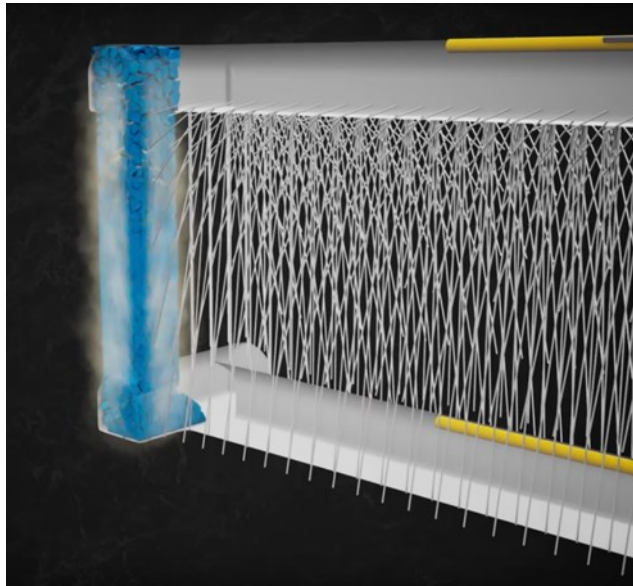


Kuva 3.2 Louhoksen panostusreiät ja avausnousu, (1) tunneli, (2) ilmanvaihtokana, (3) pitkäreikälaitteen reikiä, (4) panostettuja reikiä, (5) avausnousu (Atlas Copco 2018).

Irronnut kiviaines putoaa alempaan tunneliin, josta se lastataan maanpinnalle kuljetettavaksi. Kuljetus tapahtuu yleensä hissillä tai malmion viereen louhittua ramppia pitkin. Räjäytyksen seurauksena kiviaineksen vaatima tilavuus kasvaa lohcareiden epäjärjestyksen vuoksi noin 1,5-kertaiseksi. (Hakapää et al. 2011) Räjäytettävät tasovälit ovat pääsääntöisesti korkeita ja kapeita, jolloin riski kivenlohcareiden kiilautumisesta ja siitä seuraavista vaaratilanteista on suuri erityisesti uutta louhosta avattaessa. Kiilautumisriskiä voidaan pienentää tekemällä laajentuvalle kivelle tilaa ennen varsinaista räjäytystä ja pitämällä louhoksen avausräjäytys melko pienenä.

Avauksen, eli tasovälin ensimmäisen räjäytyksen tekoon on käytössä muutamia erilaisia menetelmiä. Tyypilliselle 15–45 metrin tasovälin louhoksen avaukselle riittää yleensä pienten panostettavien reikien lisäksi yksi, 0,4–0,8 m² poikkipinta-alaltaan oleva avausnousu. Avausnousun koko on tavallisten iskevien kallionporauslaitteiden reikiin nähden niin suuri, että kunnollisen avausnousun tekeminen vaatii nousuporausmenetelmän käyttöä, tai useiden lähekkäin porattujen reikien tekemisen pitkäreikälaitteella. Avausta räjäytettäessä lähekkäiset reiät yhdistyvät räjäytyksen porrastuksen myötä vaihteittain, muodostaen vaaditun tilavuuden irtaavalle kiviainekselle. Tilanteen mukaan, räjäytykset voidaan joutua tekemään useassa katkossa tai kerralla alhaalta ylös asti. Kuvassa 3.3 louhoksen avaus voitiin räjäyttää kokonaan nousuporakoneella tehdyn apureiän ansi-

osta. Apureiän, eli avausnousun muodostaman yhtenäisen avoimen tilan vuoksi kiilautumisriski oli kertäräjäytyksestä huolimatta selvästi pienempi, kuin pelkkää pitkäreikälaitetta käytettäessä.



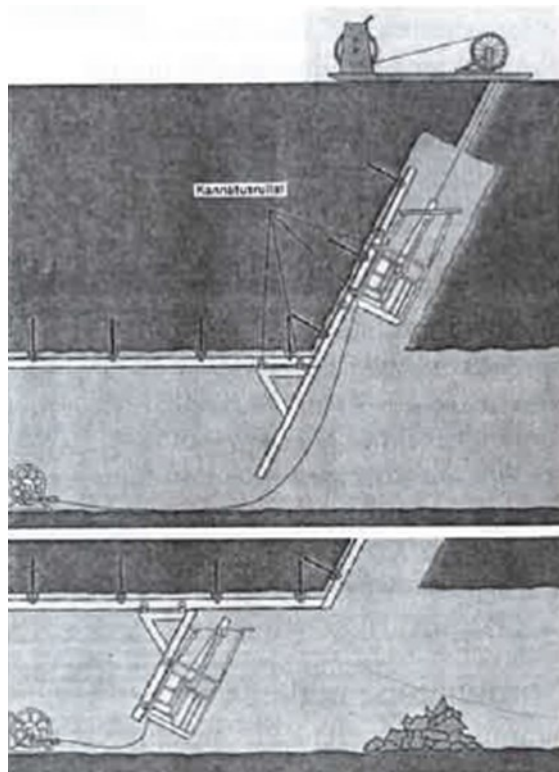
Kuva 3.3 *Räjäytetty louhoksen avaus (Atlas Copco 2018).*

Käsin liikuteltavia, alustaan tukeutuvia porakoneita käytettäessä, patkka kerrallaan tekeminen on välttämätöntä, koska koneilla ei voi porata kovin pitkiä reikiä. Porauksen aikaisten työturvallisuushuolten lisäksi, monet kaivokset haluavat eroon ylimääräisistä räjäytyskerroista, koska tällöin prosessiin kuluva tehotonta aikaa saadaan vähennettyä merkittävästi. Räjäytysten ja niiden jälkeisen tuuletuksen ajaksi koko kaivos on yleensä tyhjennettävä työntekijöistä. Kokoprofiilimenetelmällä, eli nousuporauksella päästään vaadittuun avauksen kokoon mahdollisimman pienellä räjäytysten määrällä vähentäen samalla pitkäreikäkoneella tehtävien reikien määrää.

Jora-menetelmä

Jora-menetelmässä avausreikä tehdään alhaalta ylöspäin, hissikorista poraamalla. Hissiköyden kiinnityksen vuoksi menetelmä vaatii pääsyn myös yläpuoliselle tasolle, jonne porataan alatasolta reikä köyttä varten. Vinoissa nousuissa työskentelytasona toimivaa koria ohjataan nousun kattoon kiinnitetyn kiskon avulla. Menetelmän suurin hyöty saadaan vaihtelevassa ja rikkonaisessa kivessä, jossa pitkäreikäkoneilla poraaminen on haastavaa poraputkien jumiutumisen ja reikien kääntymisen vuoksi. Nousut tehdään 4 metrin katkoissa, jolloin tyyppilliselle 32 metrin tasovälille tarvitaan 8 räjäytyskertaa ennen

varsinaista louhoksen räjäyttämistä. Menetelmän turvallisuus on heikko, koska työskentely tapahtuu reiässä räjäytetyn pinnan alapuolella. Hissikori toimii porarin turvakatoksena. Menetelmän toiminta on esitetty kuvassa 3.4. (Hakapää et al. 2011, s. 128)

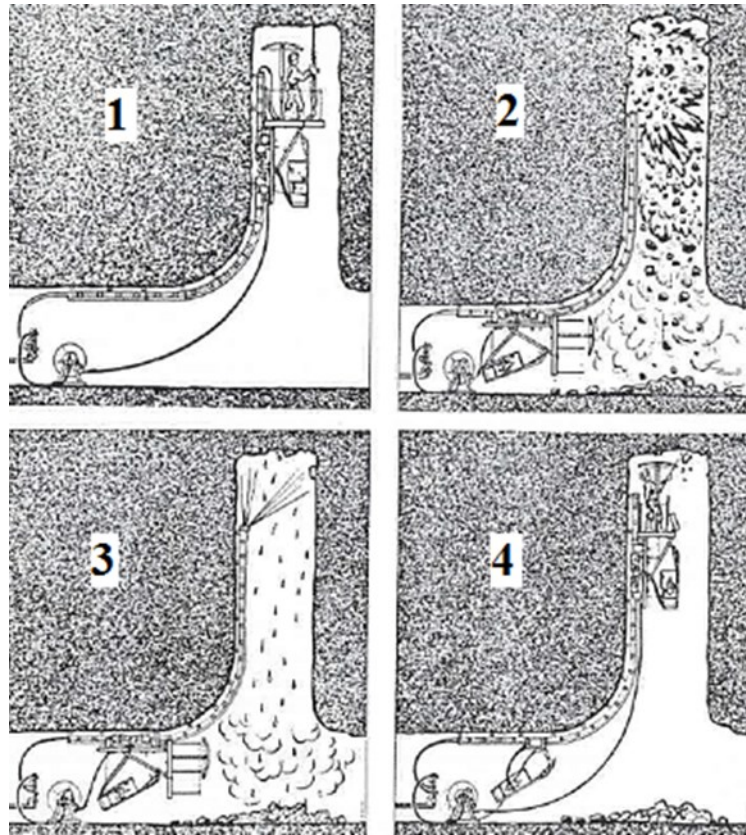


Kuva 3.4 Jora-menetelmässä hissi vaatii kulkuyhteyden ylemmälle tasolle (Hakapää et al. 2011 s. 128).

Alimak-menettelmä

Alimak poikkeaa Jorasta siten, että nousu voidaan tehdä sokkoreikästä ilman ylemmälle tasolle pääsyä. Alimakissa reikä tehdään myös alhaalta ylöspäin, jolloin kivien poistossa hyödynnetään painovoimaa Jora-menetelmän tavoin. Kuvassa 3.5 on kuvattu porausprosessin neljä vaihetta, joista ensimmäinen on varsinainen poraus. Sitä seuraa räjäytys ja tuuletus. Viimeisenä suoritetaan rusnaus, eli irtoavien lohcareiden mekaaninen poisto,

jotta räjäytetystä kalliopinnasta ei irtoaisi vaaratilanteita aiheuttavia kiviä muiden vaiheiden aikana.



Kuva 3.5 Alimak-menetelmässä hissikisko kiinnittyy nousun seinään, (1) poraus, (2) räjäytys, (3) tuuletus, (4) rusnaus (Hakapää et al. 2011, s. 129).

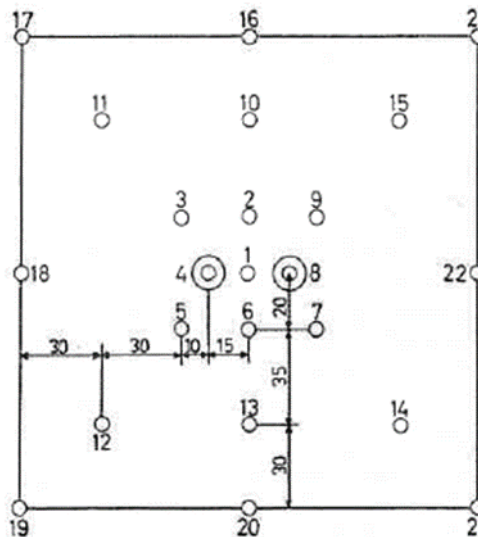
Menetelmän hissi kiinnittyy nousun seinässä olevaan hammastankoon, jota pitkin kulkee myös porauksessa ja reiän tuuletuksessa tarvittava vesi ja paineilma. Hissi liikkuu kiskoa pitkin paineilmamoottorin käyttämänä alle 100 metrin ja sähkömoottorilla alle 200 metrin nousuissa. Pidemmät nousutkin ovat mahdollisia, mutta silloin on käytettävä dieselmoottorilla pyöritettävää hydraulikkayksikköä.

Alimak on joustava menetelmä, koska nousun suuntaa voidaan muuttaa kaarevilla kiskoelementeillä. Myös reiän sivuihin voidaan porata esimerkiksi seinämien lujitukseen, tai nousun laajennukseen tarvittavia reikiä. Reikä etenee katkoissa, jolloin räjäytyskertojen määrä on saavutettuihin metreihin nähden suuri. Työtasona ja turvakatoksena toimiva

hissi ajetaan räjäytyksen ajaksi alla olevaan tunneliin suojaan. (Hakapää et al. 2011 s. 129–130)

Avaus pitkäreikäkoneella

Yleisin tapa avausnousun tekoon on pitkäreikäkone, jolla porataan myös tasovälien räjäytyksessä käytettävät reiät (Hakapää et al. 2011, s. 127). Työn suoritus yhdellä koneella on logistisesti järkevä vaihtoehto, koska tällöin toisen koneen ei tarvitse käydä porauspaikalla avauksen vuoksi. Samalla vältetään vain tiettyyn työvaiheeseen sopivan koneen hankinnalta. Kaivosten työmäärä on kuitenkin usein niin suuri, että useat koneet kannattaa optimoida tietyn työvaiheen suhteen, eikä kehittää monikäyttökoneita. Pitkäreikäkoneella avaukseen tarvittavat reiät voidaan porata kerralla vaadittuun syvyyteen asti ja panostaa. Panostettavien reikien lisäksi avauksen keskelle porataan yksi tai useampia suuremmaksi avarrettavia reikiä, joita ei panosteta. Panostettavien reikien räjäytys on tärkeää porrastaa siten, että kiviaineksen irrotus etenee avarrettujen reikien läheltä kohti avauksen reunoja. Kuvassa 3.6 näkyvän porrastuksen on oltava riittävä, jotta lohkarilla on aikaa siirtyä seuraavaksi irtoavien tieltä.



Kuva 3.6 Pitkäreikäkoneella tehtävän avauksen räjäytysjärjestys (Hakapää et al. 2011, s. 128).

Ylöspäin porattaessa reikien ei tarvitse puhjeta ylemmälle tasolle, eikä kulkuyhteyttä sinne vaadita. Alaspäin porattaessa reikien on puolestaan puhjettava alatasolle, jotta räjäytyksessä irtoava kiviaines saadaan purkautumaan sinne painovoiman avulla. Hyvissä kiviolosuhteissa kaikki räjäytettävän louhoksen reiät voidaan porata kerralla, jolloin räjäytysten välissä täytyy vain panostaa seuraavat reiät ja kuljettaa irrotettua kiviainesta pois. Ylöspäin porattaessa avaus on aina räjäytettävä kokonaan, sillä koneen puomin on yllettävä kalliopintaan porauksen aikana. Kertäräjäytyksellä päästään 20–25 m pitkiin

avauksiin. Alaspäin porattaessa hankalammissa kiviolosuhteissa, tai pidempiä avauksia vaadittaessa räjäytykset tehdään 3–5 metrin katkoissa. Tällä tavoin voidaan tehdä jopa 40–60 m pitkiä avauksia. (Hakapää et al. 2011, s. 127–128)

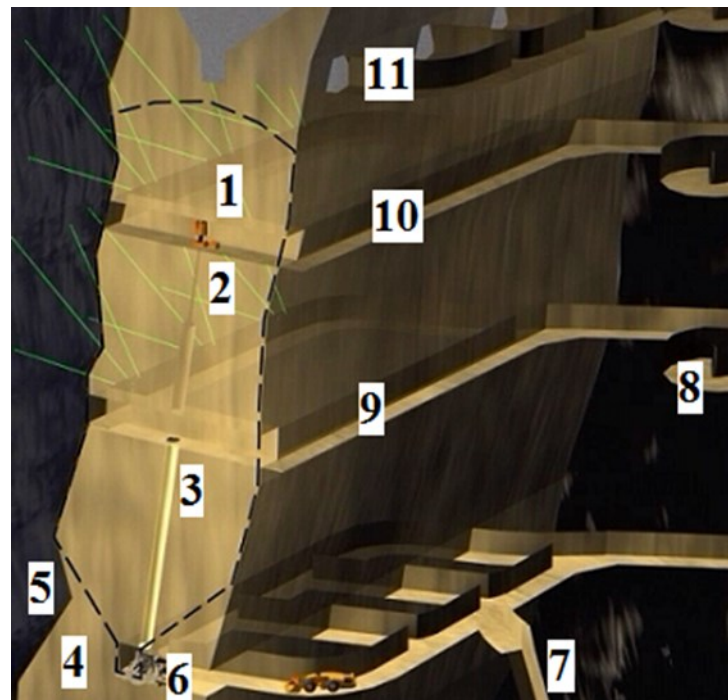
Katkoja tehtäessä, porattuja reikiä saatetaan joutua avaamaan ampumisten välillä liian voimakkaan räjäytyksen, kallion luonnollisen rikkoontumisen, tai reikiin sortuneiden kivien vuoksi. Räjäytyksen jumiutumista voidaan välttää oikean kokoisella panostuksella. Räjähdettä on oltava riittävästi halutun kiviaineksen irrottamiseen, mutta kuitenkin niin vähän, ettei kivi hienone liikaa. Reikien puhdistamiseen käytetään tyypillisesti paineilmaa, tai vettä, mutta haastavammissa tilanteissa niitä joudutaan poraamaan auki. Tällöin on huolehdittava, ettei porattavaan reikään ole jäänyt räjähdysainetta, joka aiheuttaisi vaaratilanteen. Pitkäreikäkoneella tehtyjen reikien yhdensuuntaisuusvaatimus avausta tehdessä on melko suuri, jotta kivi rikkoutuu koko avauksen matkalta. Kivilajin muutoksen tai rikkonaisuuden vuoksi porakanget saattavat lähteä taipumaan porauksen edessä, mikäli porausta ei suoriteta sopivalla syöttövoimalla erityistä huolellisuutta noudattaen. Räjähdysksen aiheuttama paine pyrkii purkautumaan helpoimmasta paikasta, jolloin kiven rikkoontuminen saattaa pysähtyä kohtaan, jossa reikien välinen seinämä on ohuin. Toisaalta reikien karatessa liian kauas toisistaan, räjähdys ei välttämättä riitä rikkomään kiviainesta suunnitellusta kohdasta. Turvallisuustekijät ja räjäytyskertojen määrät ovat niin pitkäreikälaitteella, kuin käsikäyttöisilläkin koneilla tehtävien avausten suurimpia huolenaiheita.

Perinteinen nousuporaus

Nousuporauksella tehtävän avausreiän avulla voidaan vähentää pitkäreikälaitteella louhoksen avaukseen porattavia reikiä. Kuvassa 3.6 esitetyn porauskaavion reiät 1–9 voidaan korvata yhdellä suuremmalla reiällä. Suurempi vapaa tila räjäytettävän kiviaineksen sisällä vähentää siten panostettavien reikien määrää, kun erillisiä avarrettuja reikiä ei tarvitse yhdistää räjäyttämällä. Samalla myös lähekkäin porattavien reikien yhdensuuntaisuusvaatimuksen aiheuttamat haasteet vähenevät merkittävästi.

Perinteiset nousuporaus koneet kykenevät tekemään 230–8000 mm halkaisijaltaan olevia nousuja, jolloin nousun poikkipinta-ala on 0,04–28 m². Nousuporakoneen tyypilliset reikien maksimipituudet ovat 600–1000 m, jolloin yhden reiän teko voi kestää valmistelutoimenpiteineen jopa kuukausia. Kone koostuu erillisistä moduuleista, joita voidaan siirtää kaivoksen lastauskoneilla ja pyöräkuormaajilla, tai tela-alustalla. (Hakapää et al. 2011, s. 130–131) Valmisteluvaiheen osuus lyhyiden reikien porauksessa kasvaa niin merkittäväksi, että perinteisillä nousuporakoneilla ei yleensä kannata tehdä tuotantopo-

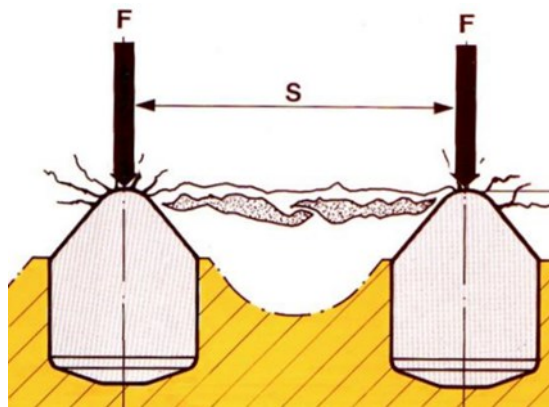
rauksen yhden tasovälin mittaisia avausreikiä. Joissain tapauksissa avausnousu voidaan kuitenkin tehdä kuvan 3.7 tapaan usealle tasovälille samalta porauspaikalta, jolloin perinteinen nousuporaus saattaa olla menetelmänä kilpailukykyinen.



Kuva 3.7 Perinteisellä nousuporauksella usean tasovälin poraaminen tehostaa työtä, (1) nousuporakone, (2) pilottireikä, (3) avarrettu nousu, (4) malmio, (5) sivukivi, (6) lastaustaso, (7) kaatokuilu, (8) ramppi, (9) alempi operointitaso, (10) ylempi operointitaso, (11) täytetty louhos (Suomen Sandvik Oy 2001).

Kokoprofiilimenetelmään perustuva poraus tapahtuu perinteisellä koneella kaksivaiheisesti. Ensin tehdään hieman poraputkia suurempi pilottireikä ylemmältä tasolta alemmalle ja sen jälkeen avarretaan reikä lopulliseen kokoonsa alhaalta ylöspäin. Poraus toimii vaihdelaatikon asemaan vaikuttavien syöttösylinterien voiman ja pyöritysmoottorin momentin avulla. Teräpäässä olevia kovametallinastoilla varustettuja piikkirullia painetaan pyöritettäessä kiveä vasten, jolloin nastojen ja kallion kontaktikohdan suuri pintapaine aiheuttaa kiveen murtumia. Nastojen välisistä kohdista irtoaa murtumien seurauksena lastumaiseksi murskaantunutta kiveä. Paremman poraustehon aikaansaamiseksi

teräpäätä on suunniteltu siten, että seuraavan samasta kohdasta kulkevan piikkirullan nastat osuvat aina eri kohtaan, kuin edellisessä kontaktissa. Kuva 3.8 havainnollistaa edellä kuvattua nousuporauksen teräpäään toimintaperiaatetta.



Kuva 3.8 Nousuporauksen teräpäään toimintaperiaate (Sandvik Mining and Construction Oy 2013, s. 31).

Pilottireiän porauksen aikana irronnut kiviaines on poistettava reiästä yläkautta paineilman tai veden avulla. Mahdollisuuksien mukaan pyritään suosimaan vettä, koska sillä voidaan vähentää merkittävästi pölyhaittoja. Huuhteluvesi johdetaan porausputkien sisäpuolella reiän pohjalle, jossa kiviaines murskautuu, kunnes se on riittävän hienojakoista noustakseen huuhteluvirtauksen mukana poraustasolle. Suuren virtaustarpeen vuoksi vesihuuhtelua käytettäessä, porauspaikan yhteyteen on kannattavaa rakentaa laskeutusallas, jonne reiästä noussut vesi valuu. Altaan toisesta päästä pumpataan vähemmän kiintoainesta sisältävä vesi uudelleen huuhtelukiertoon. Vedenkierrätys mahdollistaa suuren huuhteluvirtauksen niin, ettei kaivoksen vesijärjestelmää tarvitse mitoittaa nousuporauksen tarvitseman vesimäärän mukaan.

Kun pilottireikä puhkeaa alemmalle tasolle, irrotetaan poraletkan päässä oleva pilottiteräpä ja vaihdetaan tilalle avarrusteräpä. Avarrusteräätä vedetään kohti porausmoduulia, jolloin koneen alle valettu betonilaatta toimii tukipintana. Kokonaissyöttövoima avarrettaessa on suurempi, jotta yksittäisen piikkirullan kontaktiin saadaan riittävästi painetta. Avarrusvaiheessa ei tarvita huuhtelua, koska kiviaines putoaa painovoiman avulla alla olevaan tunneliin. Porauksen aikana on kuitenkin siirrettävä pudonnutta massaa pois

reiän suulta, jotta irronnut kiviaines tippuu tasaisesti tunneliin. (Hakapää et al. 2011, s. 130–131)

Ylöspäin poraus

Box hole, eli ylöspäin poraus on kokoprofiilimenetelmän sovellus, jossa pilottireikä ja avarrus tehdään kuvan 3.9 mukaisesti yhdellä kerralla. Tällöin porausjätteen, eli moskan poistossa hyödynnetään painovoimaa koko porauksen ajan.



Kuva 3.9 Ylöspäin porattaessa pilottireikä ja avarrus tehdään työntämällä (TRB-Raise Borers Oy 2019).

Huuhteluvettä käytetään noin kolmasosa alaspäin tehtävän pilottireiän tarpeeseen nähden, jolloin huuhteluvesi voidaan ottaa kaivoksen vesijärjestelmästä, eikä vedenkierrätystä tarvitse järjestää. Huuhteluvesipumpun valinnassa on kuitenkin huomioitava suurempi paineen tarve, jotta poraletkan sisällä olevan vesipatsaan aiheuttama vastapaine saadaan kumottua. Avarrusteräpäähän toiseenkin päähän tarvitaan kierre, jotta pilottiterän perään voidaan liittää avarrusterä. Porauksen edetessä letkaa pidennetään putkien lisäksi tietyin välein non-rotating -stabilisaattoreilla, jotka estävät letkan nurjahtamisen. Stabilisaattoreissa on poraputkeen nähden laakeroitu runko, joka tukeutuu avarretun reiän seinään sallien putken ja rungon välisen kiertoliikkeen lisäksi aksiaalisen liikkeen reiän seinän ja stabilisaattorin rungon välissä. Ylöspäin poratessa reiästä tippuva moska on ohjattava koneen takapuolelle koneen komponenttien suojaamiseksi. Moskanohjauksen on kuitenkin kyettävä väistämään putken halkaisijaa suuremman porauskaluston liisäyksen kohdalla, jolloin kunnollisen tiivistyksen tekeminen on hankalaa. Kuvassa 3.10

näkyv valmis avarrettu box hole -reikä. Box hole -menetelmällä ylöspäin porattua reikää ei ole tehty seuraavalle tasolle asti, jolloin edellä kulkevan pilottiterän tekemä kolo on nähtävissä reiän keskellä.



Kuva 3.10 Box hole -menetelmällä nousuporattu reikä alhaalta kuvattuna (TRB-Raise Borers Oy 2019).

Alaspäin poraus

Down reaming, eli alaspäin poraus on toimintaperiaatteeltaan hyvin lähellä perinteistä nousuporausta. Pilottireikä porataan vastaavasti ylhäältä alaspäin, jolloin moska on poistettava reiästä yläkautta huuhtelun avulla. Pienillä pilottirei'illä huuhteluvesi voidaan ottaa kaivoksen vesijohtoverkosta, jolloin erillistä laskeutusallasta ei tarvitse rakentaa lyhyen porausprosessin ajaksi. Reiän puhjettua alempaan tunneliin, perinteisestä menetelmästä poiketen koko porauskalusto puretaan pois reiästä, minkä jälkeen reikä suurenetaan avarrusteräpäällä ylhäältä alkaen. Kalusto tukeutuu avarrusterän kulutusaloista pilottireikään, sekä non-rotating -stabilisaattoreilla avarretun reiän seinämiin. Avarrusvaihe muistuttaa siten hyvin paljon ylöspäin porausta. Avarruksen aikana irtoava moska valuu huuhteluveden mukana pilottireiästä alempaan tunneliin. Kulkuyhteyttä alemmalle tasolle ei kuitenkaan välttämättä vaadita, koska lyhyillä rei'illä irrotettua kiviainesta ei ole

tarpeen siirtää pois reiän kohdalta. Alaspäin poraus on avausnousunporauksessa käytetyistä menetelmistä turvallisim, koska siinä ei tarvitse missään vaiheessa prosessin aikana työskennellä tukemattoman kalliopinnan alapuolella.

3.2 Markkinoilla olevat laitteet

Avausnousuja tehdään monella eri menetelmällä, vaikka kaivosten kaikkia toimintoja tarkastellessa niiden osuus työmäärästä on hyvin pieni. Käytettävän avausnousunporausmenetelmän valinta esimerkiksi kaivoksen louhintatavan, turvallisuusmääräysten ja ennestään käytössä olevan kaluston perusteella rajaa kilpailevien ratkaisujen määrää hyvin suppeaksi. Tässä luvussa esitellään erityisesti markkinoilla olevia avausnousunporaukseen tarkoitettuja nousuporakoneita. Lisäksi perehdytään muutama perinteisen menetelmän nousuporakoneeseen ja Sandvikin top hammer -pitkäreikälaitteisiin. Perinteisen menetelmän nousuporakoneita ja pitkäreikälaitteita on selvästi avausnousunporauslaitteita enemmän tarjolla, joten niistä on päädytty ottamaan vain satunnaisia esimerkkejä koko markkinan tutkimisen sijaan. Alimak- ja Jora-menetelmien laitteita ei ole käsitelty tässä luvussa, sillä alan yleinen kehityssuunta on kohti turvallisempia menetelmiä.

Koneiden hankinta- ja käyttökustannusten, sekä tehokkuuksien välillä on erittäin suuria eroja, mikä tekee myytävien laitteiden valikoimasta hajanaisen. Tämän lisäksi asiakasta varten räätälöivät koneet saattavat samankin mallin kohdalla poiketa jonkin verran toisistaan. Yksittäiskappaleita ja pieniä sarjoja valmistettaessa käyttökokemusten perusteella tehdyt muutokset ja parannukset päätyvät nopeasti koneisiin. Suurempia sarjoja valmistettaessa, yksittäisiä toiveita ei välttämättä voida tai haluta kuunnella, jolloin asiakaslähtöisyys kärsii. Toisaalta suurempien tuotantomäärien koneissa laitekohtaiset kustannukset eivät yleensä nouse niin korkeiksi, jolloin asiakas saattaa säästää hankintahinnassa. Varaosien kustannukset ja saatavuus ovat myös merkittävä kaupantekoprosesseissa, sillä kaivosympäristö on koneille erittäin haastava ja kuluttava. Tietyt, erityisesti tuotantoon liittyvät kaivostoiminnan työvaiheet saattavat olla erittäin kriittisiä koneiden rikkoontumisesta johtuvalle seisonta-ajalle, sillä pahimmillaan koko tuotantoprosessi saattaa pysähtyä, mikäli esimerkiksi kaivoksen ainoa avausnousunporauslaite joutuu odottamaan korjausta viikkoja.

Laitteiden markkinakohteet ovat hyvin kaksijakoiset, sillä asiakkaat ovat yleensä joko kaivoksia tai urakoitsijoita. Koneen käyttötapa ja vaatimukset riippuvat selvästi asiakastyypistä, koska kaivos voi määritellä tarkemmin omaan operointiinsa vaaditut ominaisuudet ja urakoitsija puolestaan joutuu varautumaan useiden kaivosten asettamiin vaatimuksiin. On myös huomattu, että kaivokset ajattelevat urakoitsijoita pitkäjänteisemmin pitä-

mällä yleensä parempaa huolta koneista ja varautumalla paremmin esimerkiksi varaosa-tarpeisiin. Hyvän ylläpidon kannustimena kaivoksilla ovat työmaalla sijaitsevat huoltore-surssit ja konerikoista aiheutuvat suuret tuotantotappiot. Urakoitsijat puolestaan poraavat tyypillisesti metrihinnalla, jolloin toiminta keskittyy hyvin helposti koneen käyttöön.

Sandvik DL-sarja

Maanalaiseen pitkäreikäporaukseen, on tarjolla laitteita erityisesti suurilta kaivosko-nevalmistajilta, eli Sandvikilta ja Epirocilta. Myös muut konevalmistajat tekevät koneita vastaavaan käyttöön, mutta niiden merkitys kokonaismarkkinaan on pienempi. (Mining Journal 2019) Pitkäreikälaitteita käytetään monissa tehokkaissa maanalaisissa louhinta-menetelmissä, kuten välitaso- ja pengerlouhinnassa, sekä makasiinilouhinnassa (Haka-pää et al. 2011, s. 99–122). Koneiden markkina on suuri, koska niille soveltuvat mene-telmät ovat tehokkaita ja yleisesti käytettyjä.



Kuva 3.11 Sandvik DL421 (Sandvik Mining and Construction Oy 2020a).

Sandvikin DL-sarjan top-hammer pitkäreikäkoneet, joihin kuvassa 3.11 näkyvä laite kuu-luu, on rakennettu runko-ohjatulle nelipyöräiselle alustalle. Koneen sähkönsyöttökaapeli ja huuhteluvesiletku liitetään kaivoksen verkkoihin porausprosessin ajaksi, jolloin diesel-moottoria tarvitaan vain siirtoajoon. Hydraulitehoyksikkö on sijoitettu moottorin eteen ta-karungolle, jolloin koneen tasapaino pysyy hyvänä etuakselin etupuolelle sijoitetun po-rausmoduulin massasta huolimatta. Runkonivelen etupuolella olevan ohjaamon ja po-rausmoduulin välissä ei ole näkyvyyttä estäviä komponentteja, mikä mahdollistaa tehok-kaan operoinnin turvaohjaamosta. Kone ajetaan porauspaikalle siten, että kulku koneen

luokse tapahtuu laitteen takaosan suunnasta. Liikkuminen ohjaamon etupuolella estetään porauksen aikana, jotta vältetään tunnelin katosta ja poratuista rei'istä tippuvien kivien aiheuttamilta vahingoilta.

Iskevät kallionporauslaitteet voidaan jakaa porakangen koneen puoleiseen päähän iskeviin top hammer -koneisiin ja suoraan porakangen toiseen päähän voiman välittäviin ITH-koneisiin (in-the-hole). ITH-, eli uppovasarakoneiden etu on parempi reiän suoruuden säilyminen. Porakangen pidentyessä suuntavirhe saattaa kasvaa, kun terää, eli kruunua pienemmät putket eivät tukeudu reiän seiniin ja porakanki alkaa nurjahtaa iskun yhteydessä. Pitkillä rei'illä ITH-koneen porausteho säilyy top hammer -konetta paremmin, kun iskuenergiaa ei absorboidu porakankeen. Top hammer -kone on kuitenkin tehokkaampi lyhyillä rei'illä, sillä reikäkoko voidaan pitää pienempänä.

Sandvikin DL-sarjan koneet pystyvät poraamaan 20–54 m pitkiä, 51–115 mm maksimihalkaisijaltaan olevia reikiä. Koneiden massat ovat 9–27 tonnia ja pienimmät poraukseen soveltuvat tunnelikoot 3,0 x 3,0 m – 3,6 x 3,6 m. (Sandvik Mining and Construction Oy 2020b) Poraus etenee tyypillisesti 14–20 m tunnissa, mutta työtehtävä, kiviolosuhteet, ja kaluston kunto vaikuttavat merkittävästi työsaavutukseen.

Perinteiset Rhino-nousuporakoneet

TRB-Raise Borers Oy:n valmistamat Rhino -nousuporakoneet ovat usein asiakkaan tarpeeseen räätälöityjä tilauksesta tehtäviä koneita. Tyypillisesti perinteisen poraustavan koneita käytetään kaivosten infrastruktuuriin, eli ilmanvaihto-, hissi- ja kaatokuilujen poraukseen. Muita asiakkaita ovat kalliorakentamista harjoittavat yritykset, jotka poraavat esimerkiksi vesitunneleita ja hissikuiluja.

Nousuporauslaitteiden toimintaperiaate on hyvin samanlainen kokoluokasta riippumatta. Porausyksikkö koostuu suurilla hydraulisylintereillä porausakselin suunnassa liikutettavasta vaihdelaatikosta ja kangenkäsittelijästä, joka on poraputkien porauslinjalle vientiin tarkoitettu manipulaattori. Vaihdelaatikossa on hydraulinen tai sähkömoottori, jolla tuotetaan poraputkien päähän kiinnitetyn teräpään pyörittämiseen tarvittava momentti. Hydraulinen teho tulee erillisestä hydraulitehoyksiköstä, jossa sähkömoottorilla pyöritettävä pumppu tuottaa tilavuusvirtaa koneen monien hydraulisten toimintojen tarpeisiin. Koneen varsinainen käyttövoima tulee kaivoksen korkeajänniteverkosta ja se syötetään hydraulitehoyksikön yhteyteen tai erilliseksi moduuliksi rakennettuun sähkökeskukseen.

Koneen operointia varten on yleensä tehty erillinen kontti tai ohjauspöytä, johon käyttöpaneeli ja tarvittavat näytöt on asennettu.



Kuva 3.12 Perinteinen Rhino-nousuporakone porauspaikalla (TRB-Raise Borers Oy 2019).

Kuvassa 3.12 näkyy perinteisen nousuporakoneen porausyksikkö ja tehoyksiköt. Valmisteluvaiheessa porausyksikön kiinnitystä varten valetaan betonilaatta, jonka päälle koneen peruslevy kiinnitetään kalliopulteilla. Betonilaatan ja porausyksikön välissä voidaan käyttää peruslevyn sijaan myös vahvoja palkkeja, jolloin avarrusta voidaan jatkaa pintaan saakka. Lisäksi on huomioitava nousuporakoneen vaatimus tavallista korkeammasta ja usein myös leveämmästä tunnelista, sekä huuhteluveden kierrättämiseen vaaditusta laskeutusaltaasta. Tämän jälkeen porausmoduuli tuodaan paikalle lastauskoneella, tai omalla dieselmootorilla liikkuvalla tela-alustalla. Porausmoduuli pystytetään peruslevylle tukitankojen ja syöttösylinterien liikkeen avulla. Tehoyksikkö tai -yksiköt sijoitetaan porausmoduulin lähelle ja suoritetaan tarvittavat kytkennät. Poraputket järjestetään porausmoduulin viereen tehdylle putkiradalle, jossa satoja kiloja painavia putkia voidaan turvallisesti pyörittää kangenkäsittelijän ulottuville. Putkien kierteet on puhdistettava ja rasvattava huolellisesti kulumisen ja kierteiden jumiutumisen välttämiseksi. Tar-

vittaessa porauspaikalle voidaan asentaa kuormausnosturi, jolla putket voidaan turvallisesti nostella radalle. Porauksen valmisteluvaiheen logistiikka vaatii useita henkilöitä ja sopivan koneen erillisten moduulien siirtämiseen.

Perinteisellä nousuporaustavalla poraavien Rhinon reikien maksimipituudet ovat 600–800 m ja reikien maksimihalkaisijat 1,0–5,5 m. Porausyksiköiden, eli koneen painavimpien osien massat ovat 8–24 tonnia. Poraus etenee 0,3–3,0 metriä tunnissa riippuen kivilajista ja kaluston kuluneisuudesta (Sandvik Mining and Construction Oy 2013, s.6).

Redpath Redbore-mallisto

Kanadassa perustettu Redpath Mining valmistaa perinteiseen tapaan erillisinä moduuleina siirrettäviä nousuporauslaitteita. Tiettyjä konemalleja voidaan perinteisen poraustavan lisäksi käyttää myös ylös ja alaspäin poraamiseen, jolloin ne soveltuvat paremmin avausnousujen tekemiseen. Koneissa on kangenkäsittelijällä varustettu porausmoduuli, joka kytketään sähkömoottorilla pyöritettävään hydraulitehoyksikköön. Käyttöpaneeli on erillisenä moduulina, tai tehoyksikön yhteydessä. Toimintaperiaate on siis samanlainen kuin useimmissa nousuporakoneissa.

Kuvassa 3.13 näkyvä pienin malli, Redbore 30 on avausnousuhin tarkoitettu ylöspäin poraava laite, joka tukeutuu tunnelin pohjaan pultattavaan alustaan tai hydraulisilla tuilla tunnelin seiniin. Suurempi Redbore 40 -malli kykenee poraamaan kaikilla kolmella poraustavalla, mikä tekee siitä yleiskäyttöisen koneen sekä avausnousuihin, että pienem-

piin perinteisten nousuporakoneiden töihin. (Redpath Mining Inc. 2020) Suuremmat koneet on tarkoitettu pääasiassa perinteisiin pidempiin nousuihin, jolloin niiden käyttö lyhyissä avausnousuissa on yleensä kannattamatonta.



Kuva 3.13 Redpath Redbore 30 on varustettavissa hydraulisella tuennalla (Redpath Mining Inc. 2020).

Reikien maksimipituudet ovat 15–1000 m, maksimihalkaisijoiden ollessa 0,72– 8,0 metriä. Porausyksiköiden massat ovat 7,1–69 tonnia ja vaaditut porauspaikan korkeudet 2,9–7,3 metriä. (Redpath Mining Inc. 2020)

AMV 1720RK

Norjalainen Andersen Mek. Verksted AS on valmistanut LKAB:n Kiirunan kaivoksella käytettävät ylöspäin poraavat AMV 1720RK avausnousunporauslaitteet. Kuvan 3.14 kone on tehty Volvon A30F -mallisen dumpperin alustalle.



Kuva 3.14 AMV 1720RK on omalla alustalla liikkuva box hole-kone (TRB-Raise Bore Oy 2019).

Ylöspäin poraavan koneen porausyksikkö on sijoitettu alustan takaosaan ja se voidaan tukea hydraulisylintereillä käytettävillä tuilla tunnelin katon ja lattian väliin. Alustan päällä on hydraulikkapumppua pyörittävä suuri sähkömoottori, sähkökeskus ja porauskaluston käsittelyyn tarkoitettu järeä kuormausnosturi. Koneen mukana ei kuljeteta porauskalustoa, vaan se tuodaan porauspaikalle pyöräkuormaajalla käsiteltävissä telineissä. Nosturilla voidaan hydraulisen rannetoimilaitteen avulla asettaa putket pystyasennossa kahden kangenkäsittelijään.

Valmistaja on panostanut vuosikymmenten ajan edistysellisiin ominaisuuksiin, kuten laitteen etäohjaukseen ja mittaustietojen keräämiseen (Andersen Mek. Verksted AS 2020). AMV 1720RK:lla voidaan porata kolme putkea etäohjauskontista. Etäohjauksella suoritettava poraus lisää turvallisuutta ja parantaa operaattorin työolosuhteita. Samalla

myös koneen käyttöaste paranee, kun porausta ei tarvitse keskeyttää muualla kaivoksessa tehtävien räjäytysten ja niiden jälkeisen tuuletuksen ajaksi.

Weller 750 Boxhole

Australialaisella kaivosurakoitsijalla, Byrnecutilla, on käytössä Rhino 100 laitteiden lisäksi Weller -merkkinen ylöspäin poraava avausnousunporauslaite. Kuvassa 3.15 oleva kone on rakennettu omalla kumipyöräisellä alustakoneella siirrettäväksi ja hydraulisilla tuilla tunnelin katon ja lattian väliin tuettavaksi. Porauksen aikaisen tehon tuottamiseen käytetään koneeseen asennettua hydraulitehoyksikköä. Koneen mukana ei kulje porauskalustoa, minkä vuoksi se vaatii toisen henkilön ja koneen huolehtimaan logistiikasta. Porausmoduulin yhteydessä on pieni kuormausnosturi, jolla kalusto viedään putkitelineistä porauskeskiöön.

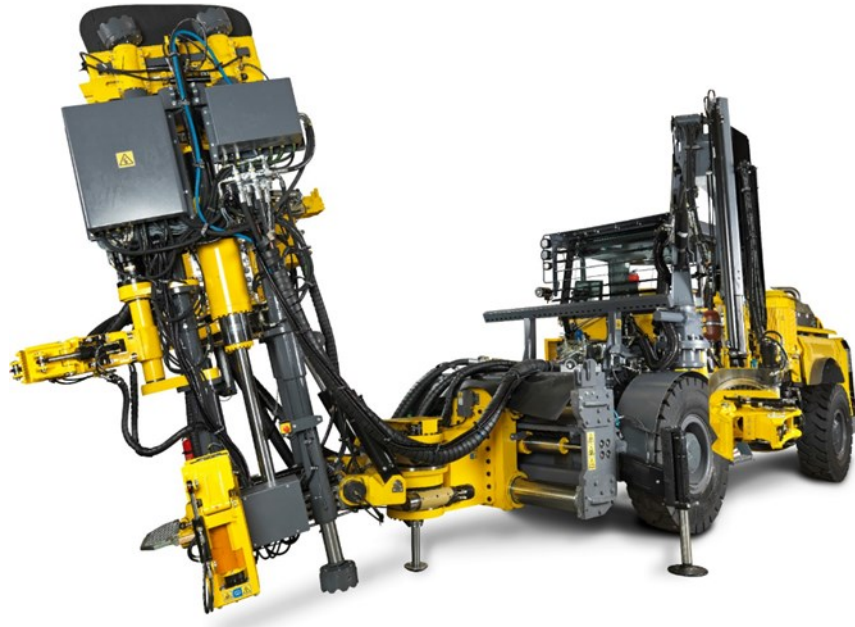


Kuva 3.15 Weller 750 Boxhole (Byrnecut Australia 2020).

Epiroc Easer L

Ruotsalainen kaivoskonevalmistaja, Epiroc myy kuvassa 3.16 näkyvää Easer L -mallista konettaan kaikkiin kolmeen nousuporaustapaan soveltuvana. Koneen päätehtävä on

louhoksen avauksessa tarvittavien reikien tekeminen, mutta sillä voidaan tehdä myös esimerkiksi hätäpoistumisteihin tarvittavia suurempia reikiä.



Kuva 3.16 Epiroc Easer L (Epiroc Ab 2020).

Alusta perustuu Epirocin Simba-pitkäreikälaitteessa käytettyyn nelipyöräiseen runko-ohjattuun malliin. Sähkömoottorikäyttöinen hydraulitehoyksikkö on maanalaisille poralaitteille tyypilliseen tapaan dieselmoottorin ja kelojen kanssa takavaunussa ja ohjaamo etuvaunussa. Etummaisena sijaitsevan porausmoduulin ja ohjaamon välissä ei ole juurikaan näköesteitä, jolloin operointi onnistuu ohjaamosta sujuvasti. Työskentelyolosuhteita on heikentänyt porausmoduulin kiinteä asennus samalle alustalle ohjaamon kanssa, jolloin porauksesta aiheutuvia värinöitä on välittynyt runkorakenteita pitkin ohjaamoon. Uudemmissa koneissa on kuitenkin kehitetty alustakoneen ja porausmoduulin irrotusmahdollisuus porauksen ajaksi. Kone ei kykene kuljettamaan porauskalustoa, minkä vuoksi logistiikkaan vaaditaan toinen työntekijä ja kone. Putkien käsittelyä varten, ohjaamon etukulmalle on asennettu hydraulisesti hallittavalla rannenivelellä varustettu

kuormausnosturi. Putket nostetaan kuljetustelineistä porausmoduulin yhteydessä olevaan manipulaattoriin, jolla ne siirretään porauskeskiöön. Ratkaisu on hyvin saman tyyppinen, kuin AMV:ssä.

Porausmoduulia voidaan kiertää $\pm 90^\circ$ pystysuuntaisen nivelen ympäri, sekä kallistaa 30° kiertoakselista poispäin. Porauskulman muuttaminen pystysuunnasta poikkeavaksi auttaa suuntaamaan avausräjäytystä ja helpottaa siten malmirajojen seuraamista. Kone pystyy poraamaan 60 m mittaisia reikiä ylöspäin ja alaspäin. Lisäksi sillä voidaan tehdä 200 metrin mittaisia reikiä perinteisellä porausmenetelmällä. Ylöspäin ja alaspäin porauksessa suurin teräpää on halkaisijaltaan 750 mm ja perinteisessä nousuporaustavassa 1060 mm. Koneen massa on 37 tonnia ja se vaatii porauspaikaksi vähintään 4,7 x 4,7 m kokoisen tunnelin. (Epiroc Ab 2020)

Rhino 100

TRB-Raise Borers on kehittänyt perinteisten Rhino nousuporakoneiden lisäksi avausnousujen tekoon tarkoitetun Rhino 100 -mallin, joka on rakennettu John Deere Forestry:n valmistamien 1910E ja 1910G kuormatraktoreiden alustoille. Kuvassa 3.17 näkyvällä koneella voidaan porata ylä- ja alakätisiä reikiä, mutta poraustavan muutokseen vaaditaan porausmoduulin ja tiettyjen porauskaluston osien vaihto. Lisäksi TRB on kehittänyt perinteisen poraustavan moduulin, jolloin valikoima kattaa kaikki kolme poraustapaa Easer L:n tapaan. Perinteisen poraustavan pääasiallinen käyttökohde on tunneleiden välille tehtävät hätäpoistumistiet, sillä ylä- ja alakätisillä poraustavoilla ei nykyisten teknisten ratkaisujen vuoksi voida käyttää riittävän suurta teräpäätä. Koneita on myyty Pohjoismaihin, Australiaan, Aasiaan, Afrikkaan, sekä Pohjois- ja Etelä-Amerikkaan. Koneen myyntivaltteja ovat tehokkuus, mukavuus, nykyaikainen tekniikka ja mukana kulkevan porauskaluston mahdollistama yhden operaattorin tarve.



Kuva 3.17 Rhino 100 (TRB-Raise Borers Oy 2019).

Dieselmoottorin voimalla siirtoajossa liikkuva 8-pyöräinen runko-ohjattu alusta on kanta-
vuodeltaan markkinoiden suurimpia. Valmiiden alustaratkaisujen valikoimaa rajoittaa
pyörivän ja kallistettavan turvaohjaamon vaatimus. Kuormatraktorin etupäässä on
sähkö- ja vesikelat sisältävä, alustakoneen puskulevytoiminnoilla liikkuva kelamoduuli.
Takarungolla on tukijaloilla nostettava apurunko, joka toimii kiinnitysalustana muille po-
rausvarustuksen osille. Sähkökaappi ja hydraulitehoyksikkö on sijoitettu apurungon etu-
päähän. Takavaunun kansitasolla on porauskalusto ja sen käsittelyyn tarkoitettu pieni
kuormausnosturi. Takapäässä on porausmoduuli ja sivukallistusrunko. Porausmoduu-
lissa on manipulaattorityyppinen kangenkäsittelijä, jolla kaluston tarkka paikoitus poraus-
keskiöön onnistuu AMV:n ja Easerin tapaan.

Koneen mukana kulkevalla kalustolla voidaan porata alaspäin 23 m ja ylöspäin 27 m
pitkiä nousuja. Alaspäin porattaessa suurin teräpäin koko on 660 mm ja ylöspäin porat-
taessa 750 mm. Lisäkalustolla koneen kapasiteetti riittää 100 m pitkän avarretun ja 200
m pitkän pilottireiän poraamiseen. Koneen kokonaispaino on 52 tonnia ja pienin poraa-
miseen soveltuva tunnelikoko on 4,5 x 4,5 m yläkätisillä ja 4,7 x 4,7 m alakätisillä rei'illä.

3.3 Poraustavan vaihto avausnousunporauslaitteissa

Poraustavan vaihto monipuolistaa koneen käyttöä niin kaivosten, kuin urakoitsijoidenkin
käytössä. Porattavien reikien suunta riippuu louhintatavasta, joka määräytyy malmion
muodon ja kallioperän laadun perusteella. Tämän vuoksi erilaisten poraustapojen käyttö
on välttämätöntä. Tästä huolimatta vain osa valmistajista tarjoaa mahdollisuutta useam-
paan poraustapaan, jolloin nämä valmistajat saavuttavat kilpailuedun. Perinteiseen nou-
suporaukseen nähden lyhyitä avausnousureikiä tehtäessä asiakkaat haluavat yleensä
porata ylöspäin, mikäli mahdollista. Yhdellä porauskerralla nopeasti valmistuva reikä ja
painovoiman vuoksi vähemmällä huuhteluviedellä tapahtuva moskanpoisto tekevät box
hole -porauksesta ensisijaisen vaihtoehdon. Tietyissä louhintatavoissa ja turvallisuuden
kannalta riskialttiissa kiviolosuhteissa, räjäytettävän tasovälin alapuolelta ei voida porata,
jolloin on käytettävä down reamer -konetta. Perinteistä nousuporaustapaa tarvitaan esi-
merkiksi tuotantoporauksen lisätyönä suoritettavaan hätäpoistumisteiden tekemiseen,
jolloin poraustavan vaihto nousee potentiaalisesti vaihtoehdoksi erilliselle koneelle.

Pitkäreikäkoneissa, kuten Sandvikin DL-sarjassa, poraussuunnan voi vaihtaa porausyk-
sikön portaattoman kierron avulla. Toiminto on hydraulinen, eikä se vaadi erityistoimen-
piteitä käyttäjältä. Porattaessa on kuitenkin muistettava erityisesti alaspäin porattavan
reiän erityisvaatimukset, kuten soijaputket ja kunnollinen huuhteluvirtaus. Hydraulista

porausyksikön kiertomenetelmää voidaan kuitenkin pitää mahdottomana suunnanvaihtotapana kokoprofiilimenetelmää käyttävien koneiden kokoluokassa.

Epirocin Easer L:ssä kaikki poraustavat suoritetaan samalla porausmoduulilla. Poraus suunnan muutos tehdään irrottamalla vaihdelaatikon hydraulikkaletkut ja kääntämällä vaihdelaatikko ympäri syöttösynterien korvakkeissa. Muutos onnistuu maanalaisen korjaamohallin resursseilla.

Redpathin Redbore 40 -mallin poraussuunnan vaihtoa ei valmistajan julkaisemassa materiaalissa juurikaan esitellä. Toiminta muistuttaa kuitenkin hyvin paljon Easer L -koneen yhteen porausyksikköön perustuvaa ratkaisua. Itsenäiseen liikkumiseen kykenevän alustan puuttuminen heikentää kuitenkin merkittävästi Redpathin kilpailukykyä.

Rhino 100:ssa jokaiselle poraustavalle on erillinen porausmoduuli, jolloin kunkin menetelmän erityisvaatimukset voidaan huomioida paremmin, eivätkä ylimääräiset osat häiritse työntekoa. Toisaalta erillisten porausmoduulien käyttö johtaa monien samankaltaisten kalliiden osien, kuten vaihdelaatikoiden ja synterien hankkimiseen lisäten option kustannuksia. Nykyisessä ratkaisussa koko moduulin vaihto vaatii 11 tonnia nostavan nosturin ja säilytystelineen, johon irrotettu moduuli kiinnitetään. Lisäksi eroavaisuuksia on huuhteluvesipumpussa ja kalustossa, jolloin ylöspäin poraavan moduulin vaihto muihin moduuleihin vaatii myös näiden osien vaihtamista, tai sopivan kompromissiratkaisun valintaa.

Muut koneet ovat erikoistuneet vain tiettyyn suuntaan tehtäviin reikiin, jolloin vaihtoehtojen määrä jää asiakkaiden näkökulmasta erittäin vähäiseksi. Toimivalla ja nopealla muunneltavuudella varustettu kone voi tuottaa asiakkaalle lisäarvoa sekä säästönä hankintakustannuksissa, että mahdollisesti etuna kilpailtaessa urakointisopimuksista. Rhino 100:n tapauksessa myös huollosta johtuva koneen seisona-aika voi lyhentyä merkittävästi, kun toisella porausmoduulilla voidaan tehdä töitä samanaikaisesti.

3.4 Porausmoduulin vaihdettavuuden kehittämistarve

Rhino 100:n porausmoduulin vaihtomenetelmän uudistaminen perustuu pääasiassa vaihtopaikan vaatimusten keventämisestä ja vaihtoaikataulun kiristymisestä johtuvien haasteiden ratkaisemiseen. Ainoa potentiaalinen vaihdettava nousuporaustapaa tarjoava kilpailija, Epiroc lupaa muutoksen onnistuvan kuvan 3.18 kaltaisessa maanalaisessa huoltohallissa. Maanalaisen huoltohallin resursseista on tyypillisesti pulaa, sillä rakentaminen maan alla on erittäin kallista. TRB pyrkii vastaamaan näihin haasteisiin

kehittämällä menetelmän, jossa porausmoduulin irrotus, varastointi ja kiinnitys onnistuvat kuvassa 3.19 esitetystä porauspaikan kaltaisessa tunneliperässä tai kuvan 3.20 tapaan maan pinnalla ilman merkittävää ulkopuolista apua.



Kuva 3.18 Maanalainen huoltohalli (TRB-Raise Borers Oy 2019).



Kuva 3.19 Tavallista suurempi tunneliperä Ruotsissa (TRB-Raise Borers Oy 2019).



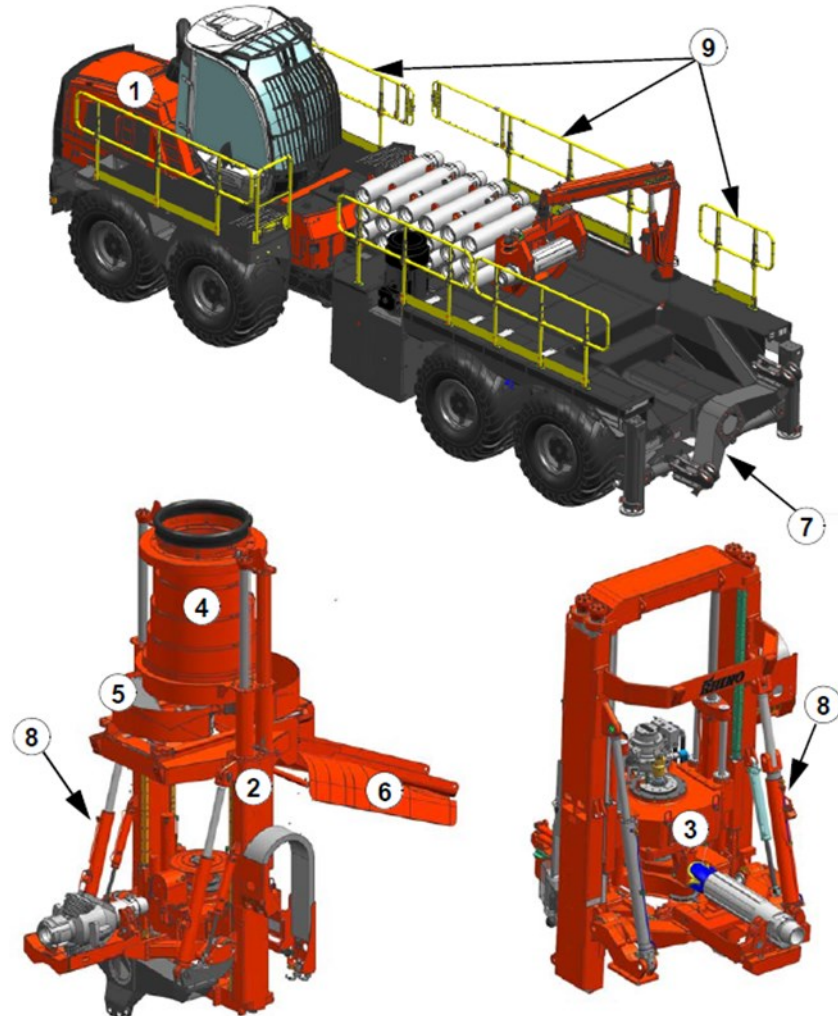
Kuva 3.20 Rhino 100 maanpäällisessä huoltotilassa Ghanassa (TRB-Raise Borers Oy 2019).

Vaihtopaikan muutoksen vuoksi nosturilla suoritettavasta porausmoduulin käsittelystä on luovuttava ja keksittävä vaihtoehtoinen menetelmä. Uusi käsittelytapa johtaa tarpeeseen keksiä uusia ratkaisuja vähintään nosturilla tapahtuvan siirron korvaamiseksi. Nykyinen porausmoduulin kiinnityskorvakkeiden ja sivukallistusrungon välisestä rajapinnasta tapahtuva, säilytyksen aikainen tuenta vaatii myös muutoksen.

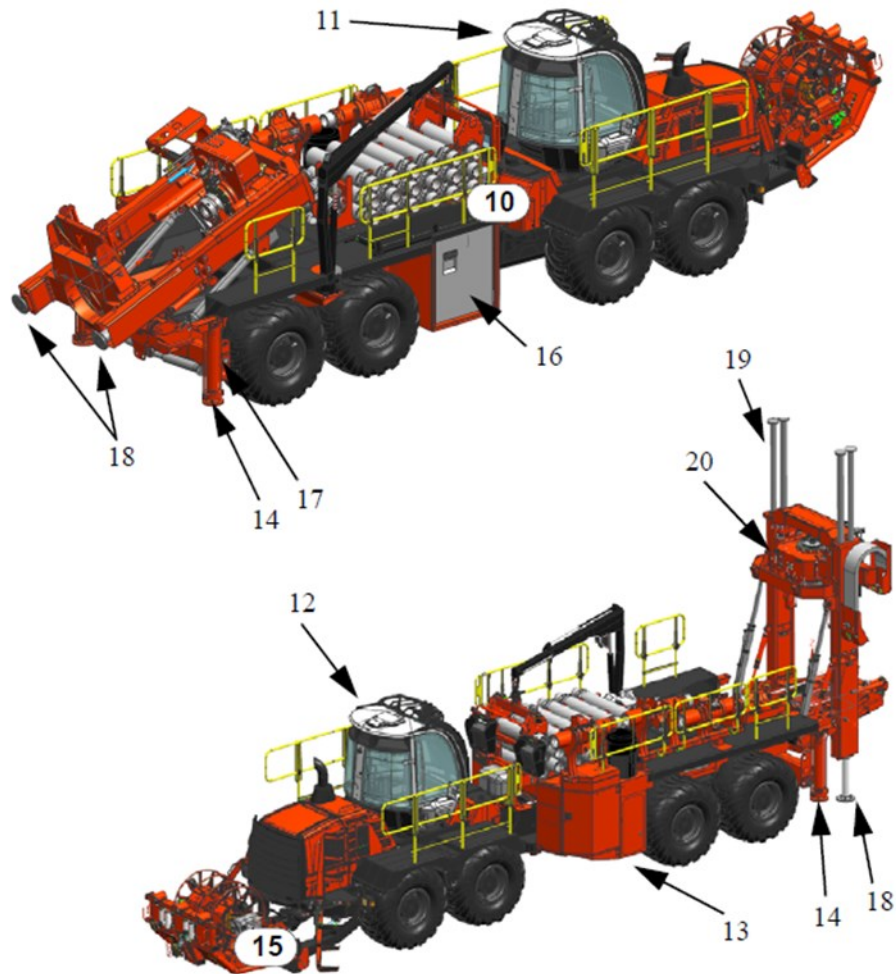
Aiempien koneiden määrittelyn mukaista yhden työpäivän mittaista vaihtoaikaa on lyhennettävä. Merkittävimmät tekijät vaihtoajan kannalta ovat ilman nosturia tapahtuva kiinnitysraja-intojen kohdistus ja useiden hydraulikkaletkujen kytkeminen. Vaihtoprosessista ja erityisesti siinä suoritettavista kytkennöistä on tarkoitus tehdä mahdollisimman yksinkertaisia, jotta operaattori voi keskittyä turvalliseen työskentelyyn teknisen osaamisen sijaan. Myös koneiden kuluminen on huomioitava, sillä erityisesti ylöspäin porattaessa, reiästä tippuva kiviaines kuluttaa osia erittäin nopeasti. Porausmoduulin vaihtoon tarvittavien ratkaisujen kustannuksilla ei ole kovin suurta merkitystä, sillä toisen moduulin hankinta muodostaa suurimman osan koko option aiheuttamasta lisäkustannuksesta. Suunnittelun prioriteetteina voidaan näin ollen pitää turvallisuutta, toimivuutta ja vaihtoprosessissa saavutettavaa ajansäästöä.

4. RHINO 100:N JÄRJESTELMÄKUVAUS

TRB-Raise Borers Oy:n kehittämä Rhino 100 on ainoa markkinoilla oleva kokoprofiilimetelmää käyttävä avausnousunporauslaite, joka pystyy kuljettamaan kaiken tarvittavan kaluston alustakoneen mukana ja tukeutumaan kallioon ilman erityisiä valmistelutoimenpiteitä. Kone koostuu John Deere Forestry Oy:n valmistamasta 1910E tai 1910G -mallisesta kuormatraktorista ja TRB:n kehittämästä avausnousunporausvarustuksesta. Koneen rakenne on monilta osin modulaarinen, mikä mahdollistaa pitkälle viedyn asiakaskohtaisen räätälöinnin ja kokoonpanon sujuvuuden. Koneen tärkeimmät osat on esitetty kuvissa 4.1 ja 4.2.



Kuva 4.1 Rhino 100:n tärkeimmät osat 1/2, (1) alustakone, (2) johdepalkki, (3) kangenkäsittelijä, (4) nouseva kuoppa, (5) avautuva kuoppa, (6) moskakouru, (7) kallistusrunko, (8) pystyynnostosylinteri, (9) kaiteet (TRB-Raise Borers Oy 2019).



Kuva 4.2 Rhino 100:n tärkeimmät osat 2/2, (10) apurunko ja ramppi, (11) ohjaamo siirtoajossa, (12) ohjaamo porausasennossa, (13) etumaatuet, (14) takamaatuet, (15) kelamoduuli, (16) tehoyksikkö, (17) sivutuet, (18) lattiatuet, (19) kattotuet, (20) vaihdelaatikko (TRB-Raise Borers Oy 2019).

Porauspaikalle saavuttaessa kelamoduulin sähkön- ja vedensyöttö liitetään kaivoksen verkkoon ja kone ajetaan kaivossuunnittelun määrittämään asemaan. Sisäilman laadulla on suuri merkitys kaivostyöntekijöiden terveyden kannalta, minkä vuoksi dieselmoottoria käytetään vain laitteen siirtoon porauspaikalta toiselle. Porauksen vaatima teho otetaan kaivoksen sähköverkosta ja muunnetaan koneen tehoyksikössä haluttuun muotoon, eli pääosin hydrauliseksi tehoksi. Porauksen aiheuttaman värinän välttämiseksi alustakoneen takarungon päällä sijaitseva apurunko nostetaan maatuilla irti alustasta ja apurungon takaosassa sijaitseva porausmoduuli asetetaan haluttuun asentoon. Hydraulisyylintereillä tapahtuva tuenta tunnelin kattoon, lattiaan ja seiniin on erittäin tärkeää oikean porauskulman säilyttämiseksi. Koneen porausmoduulissa sijaitsevaan vaihdelaatikkoon kierteytetään pilottiteräpä, jota painetaan porattaessa kalliota vasten ja pyöritetään samalla reiän keskilinjan ympäri. Kalliosta irtoava kiviaines johdetaan pois reiästä vesi-huuhtelua käyttäen. Kun vaihdelaatikkaa liikuttavista syöttösyylintereistä loppuu liikevara,

kierretään teräpää irti vaihdelaatikosta ja väliin lisätään seuraava kaluston osa, esimerkiksi poraputki. Kaluston käsittely tapahtuu apurungon päälle asennetulla kuormausnosturilla, jolla lisättävä osa siirretään telineestä kangenkäsittelijään ja siitä edelleen porauskeskiöön.

4.1 Alustakone

Suomessa, John Deere Forestry Oy:n tehtaalla valmistettava 1910G kuormatraktori on valittu Rhino 100 avausnousunporauslaitteen alustakoneeksi suuren kantavuuden, sekä vakaavan ja kääntyvän ohjaamon ansiosta. Myös helppo yhteydenpitomahdollisuus valmistajan kanssa on puoltanut John Deeren alustakoneen valintaa. Päästö määräyserojen vuoksi tarjolla on myös vanhempi 1910E-malli, jota viedään maihin, joissa huonolaatuinen polttoaine ei sovellu G-mallissa käytettäväksi. Koneeseen tehtävä kaivoskoneeksi sopivuutta lisäävä räätälöinti on vaatinut neuvotteluja ja erityisjärjestelyjä John Deeren tuotannon kanssa. Koneesta on jätetty pois metsäkonekäyttöön tarkoitettu kuomatila ja puutavarakuormain. Telikotelot on tehty sellaisiksi, että ne voidaan asentaa tuotantolinjalla ylösalaisin koneen madaltamiseksi. Sähköjohtojen suojiksi tarkoitettuja hydraulikkaletkuja ja muutamia TRB:n toimittamia komponentteja asennetaan jo koneen valmistusvaiheessa. Kuvassa 4.3 on John Deeren toimittama kone ennen TRB:n suorittamaa kaivosvarustelua. Tiettyjä osia, kuten portaita ja konepeltejä joudutaan turvallisuus- ja tuotannollisista syistä purkamaan tai muokkaamaan vasta TRB:n tuotannossa. Kuormatraktoreita on aiemminkin käytetty alustakoneena erityisratkaisuihin, kuten metsä-äkeissä, hakkureissa, sähköyhtiöiden henkilönostimissa.



Kuva 4.3 Kaivoskäyttöön valmistettu versio John Deere 1910G:stä (TRB-Raise Boreers Oy 2019).

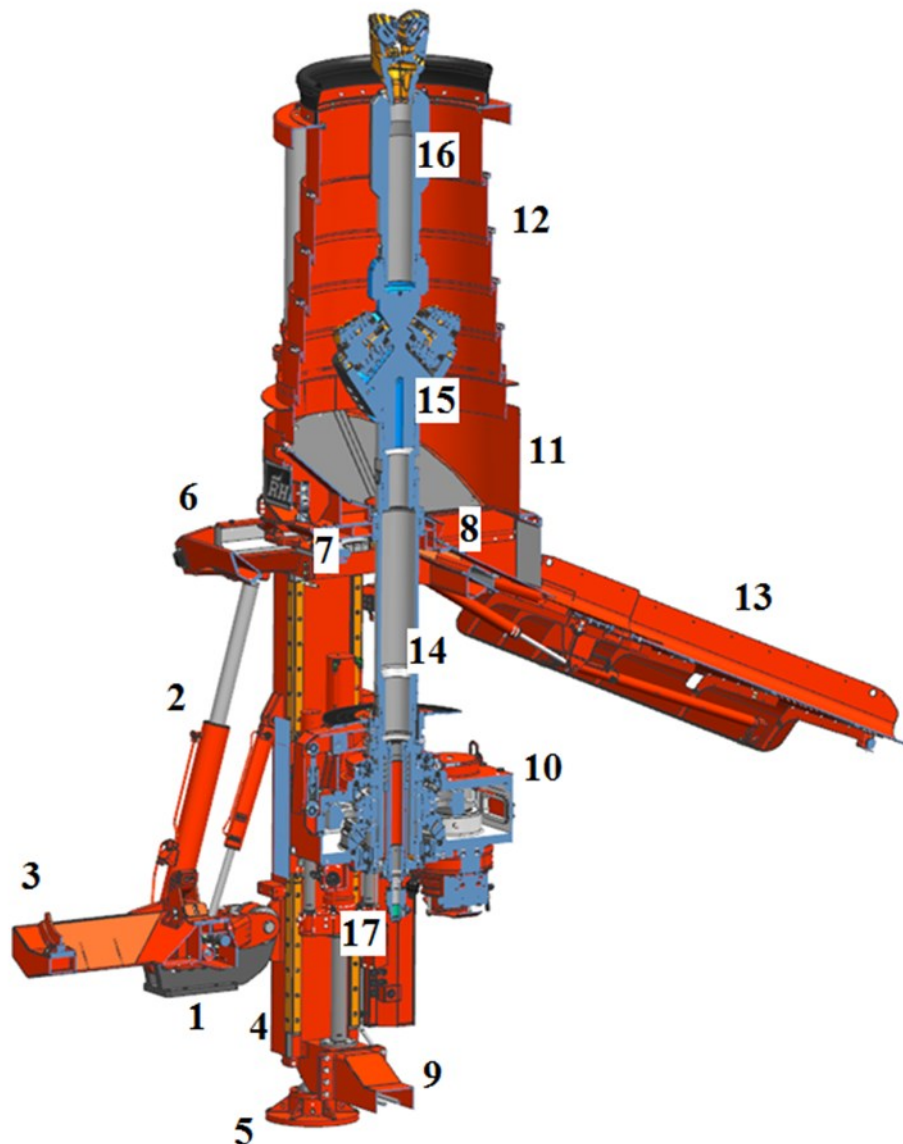
Kuljettajan ergonomialla on suuri merkitys porauspaikalle asemoidussa koneessa, koska yhden avausnousun poraaminen kestää 1–2 työvuoroa. Ohjaamon kääntökulma on 290° ja kallistuskulma ajosuunnassa $\pm 6^\circ$ ja sivusuunnassa $\pm 10^\circ$ (John Deere Forestry 2020). Myös ilmanlaatu, lämpötila ja melutaso (<48 dB) ovat kuljettajalle suotuisampia nykyaisessa ohjaamossa, kuin koneen ulkopuolella työskenneltäessä. Ahtaassa tunnelissa ajettaessa hyvä näkyvyys koneen ympäristöön on tärkeä turvallisuuden ja koneen kestön kannalta.

Kaivoskoneiden rakenteet tehdään yleensä kestävämpään kovaa käyttöä ja hankalia olosuhteita. Työskentelypaikka on yleiseltä liikenteeltä suljetulla alueella ja hyvin kantavalla alustalla, minkä vuoksi osien painoa ei tarvitse usein minimoida. Tuotantoprosessiin kuuluvan koneen korjausajasta saattaa muodostua merkittävä kustannustekijä, minkä vuoksi toiminnan kannalta kriittisiä osia usein ylimitoitetaan. Rhino 100:n kokonaismassa on 50 tonnia, eli valmistajan koneelle ilmoittama kantavuus on käytetty kokonaisuudessaan.

4.2 Porausmoduuli

Koneen takaosassa sijaitseva perinteistä nousuporakonetta muistuttava porausmoduuli on avausnousunporauslaitteen tärkein osa. Lyhytkestoisten työkohteiden ja erilaisten poraustapojen vuoksi sen ominaisuuksia on kuitenkin jouduttu kehittämään perinteistä konetta helppokäyttöisemmiksi. Porausyksikön tuenta tapahtuu Rhino 100:ssa hydraulisesti, eikä kalliopulteilla. Porauskulmaan asettaminen tapahtuu myös hydraulisylintreillä mekaanisten vanttiruuvien sijaan. Kuvassa 4.1 vasemmalla olevassa ylöspäin poraavassa moduulissa on huolehdittu irrotetun kiviaineksen ohjaamisesta koneen taakse, kun perinteisessä ja kuvassa 4.1 oikealla näkyvässä alaspäin poraavassa mallissa riittää

kiviaineksen kulkeutuminen huuhteluveden mukana reiästä tunnelin pohjalle. Porausmoduulin osia on esitelty tarkemmin yläkätisen yksikön halkileikkauks kuvassa 4.4.



Kuva 4.4 Yläkätisen porausmoduulin halkileikkaus, (1) pystyynnostosylinterin korvake, (2) pystyynnostosylinteri, (3) kangenkäsittelijä, (4) johdepalkki, (5) lattiatuki, (6) ylärunko, (7) etuohjain, (8) takaohjain, (9) alatuki, (10) vaihdelaatikko, (11) avautuva kuoppa, (12) nouseva kuoppa, (13) moskakouru, (14) poraputki, (15) avarrusteräpä, (16) pilottiteräpä, (17) syöttösylinteri.

Teräpään pyöryksestä vastaava vaihdelaatikko apu- ja toimilaitteineen kiinnittyy syöttösylinterien korvakkeisiin, jotka liikkuvat porausmoduulin sivulla olevia johdepalkkeja pitkin porauslinjan suunnassa. Vaihdelaatikko ja siihen liitetty radiaalimäntämoottori tuottavat porauksessa tarvittavan momentin, joka on normaalikäytössä 35 kNm ja suurimmillaan 60 kNm. Johdepalkkien ala- ja yläpäässä on porausmoduulin tuentaan tarvittavat sylinterit. Tuennassa suurin voima kohdistuu poraussuuntaan nähden vastakkaisille sylintereille, jotka joutuvat vastaanottamaan pingotuksen lisäksi jopa 700 kN syöttövoiman.

Poraussuunnan puoleisessa tuennassa on paineakku kireyden säilymisen varmistuksena tukipinnan muutosten ja hydraulijärjestelmän sisäisten vuotojen varalta. Porauksen momentti välittyy pääasiassa porausmoduulin tuille sylintereitä taivuttavana voimana.

Vaihdelaatikon ja porattavan pinnan välissä on ohjauskokoonpano, eli etuohjain ja takaohjain, joiden tehtävä on tukea porauskalustosta muodostuvaa poraletkaa taipumiselta. Tukeminen on erityisen tärkeää porausta aloitettaessa tunnelin pinnan epätasaisuuksien aiheuttaman kulmavirheen välttämiseksi. Ohjauskokoonpano on avautuva, jotta poraputken halkaisijaa suuremman kaluston vieminen ohjauksen toiselle puolelle on mahdollista. Tällöin edellinen porattu putki korvataan halutulla kaluston osalla ja tämän perään liitetään putki porauksen jatkamiseksi. Ohjauskokoonpanossa on hydraulisyntereillä liikkuva liukulukko, eli suurikokoinen kiintoavain putkesta tarttumista varten. Poraputken kierteytyksen helpottamiseksi vaihdelaatikon toisioakselissa, eli sukissa on jousikuormitettu aksiaalisuuntainen vapaaliike, joka sallii vaihdelaatikon aseman poikkeamisen ideaalisijainnista kierteytyksessä. Sukin urituksessa on erillinen sukin mukana pyörivä kaulus, jolla vaihdelaatikon puoleinen kierreliitos voidaan lukita kauemman kierreliitoksen avaamisen ajaksi.

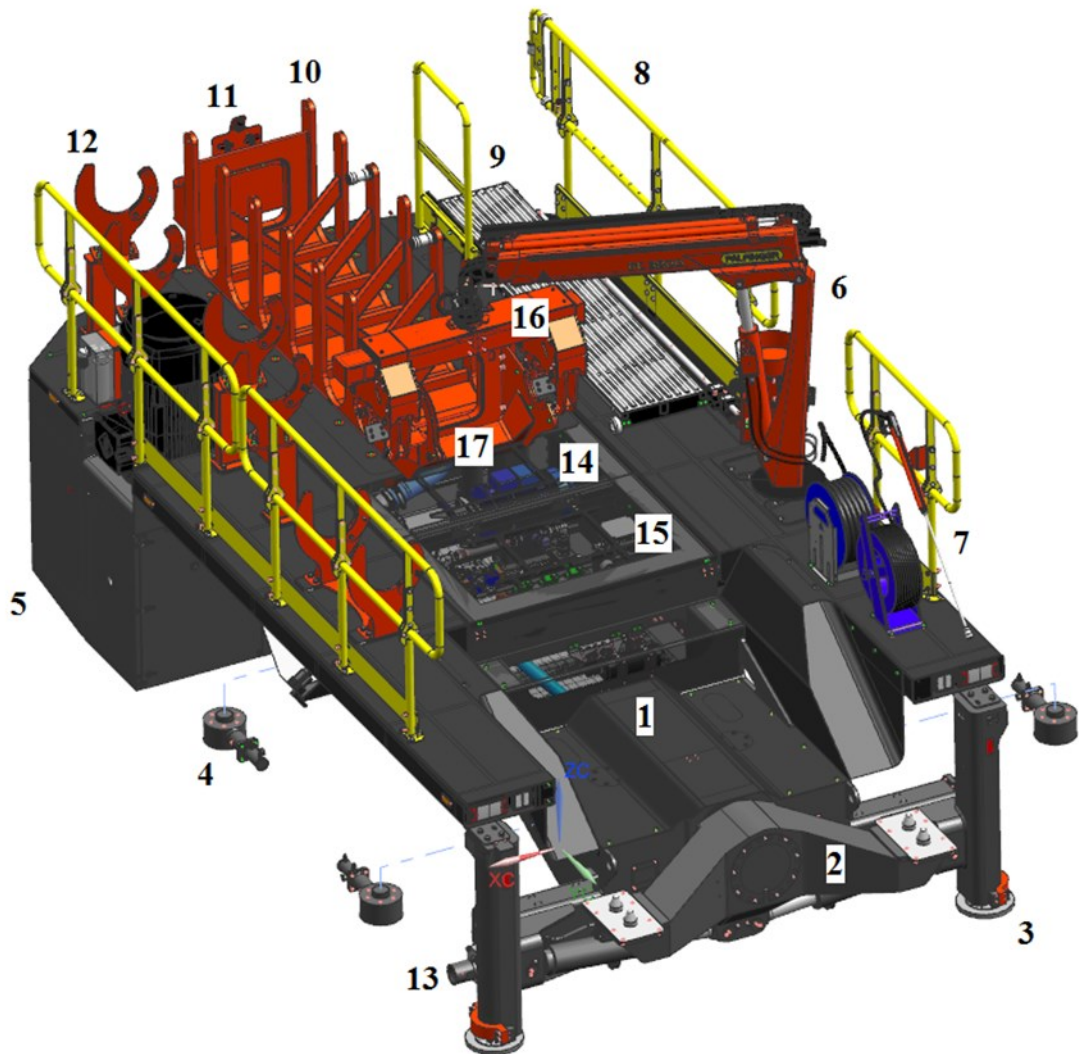
Box hole -koneen moskanohjauksessa ohjauskokoonpanon päälle kiinnittyy avautuva kuoppa, joka toimii suppilona ohjaten reiän suulle tiivistyvän teleskooppiputken, eli nousvan kuupan läpi tippuvan kiviaineksen moskakourulle. Moskakourun tehtävä on siirtää kiviaines riittävän kauas porausmoduulista, jotta konetta ei tarvitse siirtää kesken porauksen kasan siivoamisen vuoksi.

Kangenkäsittelijä, jota käytetään porauskaluston hallittuun porauslinjalle siirtoon, kiinnittyy kahdella varrella johdepalkkien etupuolella oleviin korvakkeisiin. Kangenkäsittelijässä on tarttuja, jolla pidetään kiinni lisättävästä tai poistettavasta kaluston osasta vaihdelaatikon puoleista kierrettä kierrettäessä. Samalla, porauslinjaan nähden kohtisuoralla akselilla kangenkäsittelijän kanssa ovat myös porausmoduulin kiinnityskorvakkeet, mikä takaa käsittelijän tarkan paikoituksen kaikissa pituus- ja sivusuuntaisissa kallistuskulmissa. Mekaaniset rajoittimet pysäyttävät käsittelijän kiertoliikkeen oikeaan kohtaan niin

porauskeskiössä, kuin apurungollakin. Porausmoduulin pituussuuntainen kallistus porauskulmiin ja kuljetusasentoon tehdään pystyynnoston sylintereillä, jotka vaikuttavat johdepalkkien ja porausmoduulin kiinnityskorvakkeiden väliseen kulmaan.

4.3 Apurunko

Alustakoneen takarungon päällä on kuvan 4.2 mukaisesti apurunko, joka toimii kiinnitysalustana lähes kaikille runkonivelen takapuolella oleville osakokoonpanoille. Apurunkoon kiinnittyvät osat näkyvät tarkemmin kuvassa 4.5.



Kuva 4.5 Apurunkoon kiinnitty suurin osa alustakoneen takarungolle tulevista osista, (1) apurunko, (2) kallistusrunko, (3) takamaatuki, (4) lukituslaite, (5) tehoyksikkö, (6) kuormausnosturi, (7) korkea- ja matalapainepesuri, (8) kaiteet, (9) ramppi, (10) putkiteline, (11) paikoituslaserit, (12) non-rot. stabilisaattoriteline, (13) sivutuki, (14) huuhteluvesipumppu, (15) vesiventtiilikokoonpano, (16) nostokoura, (17) avarrusteräpään teline.

Apurunko paikoitetaan takarungolle kiinnityskartioilla, joista lukitus myös varmistetaan kuljetuksen aikana hydraulisylinterillä liikkuvien kartiotappien avulla. Irrotettavan, ylös nostettavan apurungon tärkeimmät ominaisuudet ovat helppo tasaus maatusisylinterien ja kulma-anturien avulla, sekä mekaanisten osien kautta kulkevien värähtelyjen eristäminen porausasennossa. Apurungon takapäässä on sivukallistusrunko, jonka ruuvirajapintaan porausmoduuli kiinnitetään. Rajallisen kuljetuskorkeuden vuoksi apurungon takaosaan on tarvinnut jättää tila, johon porausmoduulin saa kallistettua kuljetuksen ajaksi. Laitteen kuljetuskorkeus on saatu minimoitua siten, että korkein kohta on ohjaamo, jonka sijaintiin tai korkeuteen ei ole mahdollista vaikuttaa ilman turvallisuushyväksyntöjen menetyksiä. Apurungon kansitaso on tehty kulkutasostandardien mukaiseksi, jotta koneen operaattori voi liikkua turvallisesti porauskalustoa käsiteltäessä ja konetta puhdistettaessa. Kannen päällä, apurungon vasemmassa reunassa on stabilisaattoritelineet ja keskellä putki- ja teräpääteline. Oikealla reunalla on kaluston käsittelyyn käytettävä kuorma nosturi ja ramppi, joka yhdistää etu- ja takarungon kulkutasot porausasennossa. Kansitason alapuolella, apurungon etupäässä on koneen tehoyksikkö ja suuri osa hydraulikan venttiileistä. Putkitelineen alla on huuhteluvesipumppu, jonka kokoonpano riippuu käytettävän poraustavan vaatimasta virtauksesta ja paineesta.

4.4 Tehonsyöttö

Apurungon etupäässä on erillisenä moduulina valmistettava tehoyksikkö, johon syötetään sähkötehoa kaivoksen verkosta kelamoduulissa olevan syöttöjännitekaapelin kautta. Kaivoksen sähköjärjestelmän jännite ja taajuus riippuvat paikallisesta infrastruktuurista ja perustamisvaiheesta tehdyistä valinnoista. Tehoyksikköön asennetaan tarvittaessa muuntaja, jolla muutetaan käyttöjännite koneen komponenteille sopivaksi. Avausnousunporauslaitteen 85–116 kW:n ottotehosta 75 kW menee hydraulikkapumppuja pyörittävälle sähkömoottorille. Huuhteluvesipumppu, työvalaistus, koneen ohjaustoiminnot ja poralaitteen ulkopuolisten laitteiden syötöt ovat suurimpia tehonkuluttajia tehoyksikön sähkömoottorin lisäksi. Sähköjärjestelmää ei käsitellä tässä työssä enempää, vaan sen suunnittelu jätetään sähkösuunnittelun tehtäväksi.

4.5 Vesijärjestelmä

Tavallisessa maanalaisessa kallionporauksessa käytetään lähes aina huuhteluvettä. Reiän huuhtelussa käytettävä vesi vähentää ihmisille ja koneille haitallista kivipölyä ja saa kiviaineksen kulkeutumaan sujuvammin pois porattavasta reiästä. Vesi myös jäähdyttää porauskalustoa ja vähentää porasojan tarttumista. Toinen kallionporauksessa

käytetty huuhtelumenetelmä on ilmahuuhtelu, jossa kivipöly puhalletaan reiästä pois paineilman avulla. Kaikissa kaivoksissa ei ole mahdollista käyttää vettä, sillä esimerkiksi tietyt mineraalit saattavat reagoida kemiallisesti sen kanssa. Myös edellisten yhdistelmää, ilma-vesihuuhtelua käytetään paikoissa, joissa veden määrä on huuhtelutarpeeseen nähden riittämätön, mutta pölynsidontaa on mahdollista tehdä veden avulla. Kaikissa järjestelmissä on haasteita, joita on punnittava sopivaa huuhtelutapaa valitessa.

Rhino 100:ssä käytetään ensisijaisesti vesihuuhtelua, mikä tarkoittaa erityisesti alakäistien ja perinteisen poraustavan mukaisten reikien pilottiporauksessa suurta virtauksen tarvetta. Kelamoduulin 60 metriä pitkä 2½” vesiletku liitetään kaivoksen huuhteluvesiliinjan, jossa on tyypillisesti 5–15 bar:n paine. Kelamoduulista vesiliinja kulkee ohjaamon sivusta runkonivelen yli, putkitelineen alle, jossa on kuvassa 4.5 osoitettu huuhteluvesipumppu. Lamellityyppinen pumppu tuottaa virtausta 200–600 l/min pumpun tyypistä riippuen. Pumpulta kulkee 2” vesiliinja porausmoduuliin sivukallistusrungon ja energiansiirtoketjun kautta. Vaihdelaatikossa on porausakselin kohdalla kuvassa 4.4 näkyvä pyörivä liitin, jonka kautta vesi johdetaan sukin ja poraputkien sisälle. Yläkäistillä rei’illä on huomioitava paineen riittävyys, jotta poraputkien sisällä olevan vesipatsaan yläpäässä on huuhteluun riittävä paine. Huuhtelusuutinten valinta on tehtävä huolellisesti oikean vesimäärän ja paineen saavuttamiseksi. Reiän huuhtelun lisäksi vettä käytetään hydraulikan öljyn jäähdytykseen vesi-öljyjäähdyttimessä, sekä koneen ja kaluston pesuun hydraulikäyttöisellä korkeapainepesurilla ja erillisellä matalapainepesurilla.

4.6 Ohjausjärjestelmä

Koneen ohjausjärjestelmä perustuu CAN-väylään (Controller Area Network) liitettyyn tietokoneeseen, ohjelmoitaviin logiikkoihin ja lukuisiin toimilaitteisiin. Ohjauskomentoja voidaan antaa tietokoneen kosketusnäytön, ohjaamossa sijaitsevien hallintalaitteiden, kelamoduulin ohjaimen sekä porausmoduulin ja kuormausnosturin toiminnoille tarkoitetun kauko-ohjaimen avulla. Ohjelmoitavista logiikoista yksi hoitaa tietokoneen ja muiden logiikkojen välistä liikennettä ja muut toimilaitteille välitettäviä käskyjä. Koneessa on myös hätäpysäyttimiä, joilla koneen toiminnan voi pysäyttää vaaratilanteessa. CAN-väylän etuja ovat vikaherkkiä sähköliitoksia vähentävä yksinkertainen johdotus ja uusien laitteiden helppo liitettävyyden osaksi järjestelmää. Ohjausjärjestelmän toimintaa ei käsitellä enempää tässä työssä, vaan jätetään tarvittavat muutokset automaatisuunnittelun tehtäväksi.

5. PORAUSMODUULIN VAIHDON SUUNNITTELU

Avausnousunporaukseen käytettyjen menetelmien ja laitteiden tutkiminen sekä tarkempi perehtyminen Rhino 100 avausnousunporauslaitteeseen osoittivat, että selvitettävä kokonaisuus on laaja, sillä se koskee koko laitetta ja sen toimintaympäristöä. Tämän vuoksi suunnittelu jaetaan toiminnan kannalta kriittisiin osakokonaisuuksiin. Tuotekehitysprosessin tarkastelu osoitti, että järjestelmällinen lähestymistapa auttaa monimutkaisen kokonaisuuden hallinnassa ja helpottaa suunnittelupäätösten tekoa.

5.1 Tavoitteet

Rhino 100:n poraussuunnan vaihdettavuudesta on tavoitteena tehdä sujuvampi, kuin muissa markkinoilla olevissa kokoprofiilimenetelmää käyttävissä poralaitteissa. Tehtävänä on siis suunnitella avausnousunporauslaitteeseen uusi toiminnallisuus, jossa porausmoduulin vaihto on mahdollista koneen operaattorille yhden työvuoron aikana suurin piirtein porauspaikan korkuisessa tunnelissa, jossa ei ole käytettävissä huoltohallin nosturia. Samassa työvuorossa on kyettävä myös ajamaan laite porauspaikalta vaihtopaikalle ja takaisin. Tarvittaessa vaihto on voitava suorittaa myös maanpinnalla, jolloin tilaa on enemmän, mutta tunnelin katon ja seinien hyödyntäminen ei ole mahdollista. Kuvissa 3.18–3.20 on mahdollisia vaihtopaikkoja.

Lähtökohtana ovat vaihtelevat kaivosolosuhteet ja aiemmin suunnitellun avausnousunporauslaitteen kolmas versio. Suunnittelun tärkeimpiä huomion kohteita ratkaisussa ovat tehokkuus, muutostarpeet ja turvallisuus. Ratkaisuehdotuksen on siis oltava toimiva ja koneen muuhun toimintaan nähden turvallinen. Nykyisen järjestelmän analysointi on oleellinen osa ratkaisua, jotta tarvittavat muutokset saadaan selvitettyä. Muutoksia ei kuitenkaan haluta tehdä ilman hyvin perusteltua syytä, koska työn tuloksena syntyvää optiota on mahdollista ostaa myös jo toimitettuihin kolmannen sukupolven poralaitteisiin. Tällöin muutosten vaatimat osat saatetaan joutua korvaamaan ja niiden aiheuttama kustannus kertaantuu. Kaivoksissa tarkkaillaan tyypillisesti investointien kannattavuutta ja koneiden työtehoa. Investointien täytyy olla yleensä taloudellisesti perusteltuja, minkä vuoksi kehitystyön on keskityttävä mahdollisimman sujuvan porausmoduulin vaihtoprosessin luomiseen. Optio ei saa kuitenkaan vaarantaa koneen nykyisiä ominaisuuksia, kuten tarkkuutta, kestoa, tai käytettävyyttä. Poralaitteen tehtävä on tuottaa voittoa teke-

mällä mahdollisimman monta metriä reikää aikaan ja kustannuksiin nähden. Option aiheuttama lisäkustannus on voitava kattaa käyttöasteen kasvun myötä, mikäli investointi ei ole jollain muulla tavalla välttämätön.

5.2 Vaatimusmäärittely

Vaatimusmäärittely on usein alussa tunnettujen vaatimusten listaamisen lisäksi iteratiivinen prosessi. Kaikkia vaatimuksia on lähes mahdotonta määritellä heti ensimmäisellä iteraatiokierroksella. Ratkaisuja ideoitaessa herää usein kysymyksiä, joihin ei ole vastausta aiemmassa vaatimusmäärittelyssä. Tällöin vaatimuslistaa on tarvittaessa täydennettävä. Tämän projektin vaatimusmäärittely jouduttiin tekemään suurelta osin TRB-Raise Borsers:n oman asiantuntemuksen ja kokemusten perusteella, sillä tässä vaiheessa projektilla ei ollut vielä nimettyä protoasiakasta. Rhino 100 avausnousunporaustalaitteen nykyisten ja potentiaalisten asiakkaiden toimintatavat ja käyttöympäristöt vaikuttivat kuitenkin merkittävästi vaatimusten määrittelyyn. Seuraavassa listassa on porausmoduulin parannetulle vaihdettavuudelle asetetut vaatimukset:

- Porausmoduulin vaihdosta suoriudutaan alle kuudessa tunnissa.
- Porausmoduulin vaihto onnistuu yhden operaattorin työpanoksella.
- Vaihtopaikan pohja on betonia, asfalttia, tiivistetty murskepohja tai vastaava.
- Vaihtopaikka voi olla tunnelissa, hallissa tai ulkona.
- Porausmoduulin vaihto onnistuu ilman nosturia tai muita erillisiä koneita.
- Vaihtopaikan tilantarve (leveys x korkeus) on enintään 4,5 m x 5,2 m.
- Vaihtopaikan kaltevuus on enintään 5 astetta.
- Vaihdossa tarvittava teho tuotetaan siirrettävällä teholahteella. (Vaihtopaikalla ei ole liityntää sähköverkkoon.)
- Porausmoduuli voidaan jättää säilytykseen turvallisesti tuettuna.
- Vaihtopaikka on siirrettävissä ilman pulttien tms. kiinnikkeiden irrottamista.
- Porausmoduuli on irrotettavissa käsityökaluilla tai ilman työkaluja.

Lyhyt vaatimusten määrittely ei rajoittanut käytettävissä olevia vaihtoehtoja kovin paljon, minkä vuoksi konseptisuunnittelun alussa hahmoteltiin hyvinkin erilaisia ratkaisuja porausmoduulin säilytyksen aikaiseen tukemiseen. Seuraavassa taulukossa on kuvattu

projektin aikana tarkentunut näkemys kehitystyön tavoitteesta. Tavoitetta on myös verrattu laitteen nykyiseen toimintaan, jolloin käytössä olevan järjestelmän puutteet nousevat esiin ja yhtäläisyydet vahvistuvat.

Taulukko 5.1 Nykyisen tilanteen ja tavoitteen vertailu.

	Parannettu	Nykyinen
Arvioitu vaihto aika (ei sisällä siirtoajoa)	2...6 tuntia	20 tuntia
Tarvittava henkilömäärä	1	1
Vaihtopaikka	Tunneli tai piha, tiivistetty murskepohja, Suositellaan kuitenkin betonilattiaa	Huoltohalli, betonilattia
Vaihtopaikan varustelu	-	11 t nosturi, sähkönsyöttö
Vaihtopaikan korkeus (m)	BH 5,2; DR 5,0; LC 4,8; CONV. 5,0	3,8 (nostokorkeus)
Vaihtopaikan kaltevuus (°)	Ajosuunta ± 5, sivusuunta ± 5, Suositellaan vaakasuoraa alustaa	Yleensä vaakasuora
Tehonsyöttö	Dieselmoottori	Sähköverkko
Hydrauliteho	Moottori-pumppupaketti	Tehoyksikkö
Öljyt	Alusta + tehoyksikkö (erillisinä)	Tehoyksikkö
Vaihtoasento (°)	90	21...90
Toiminnot vaihtotilanteessa	Maatuet, pystyynnosto, sivukallistus	Pystyynnosto, erillinen nosturi
Tukeminen telineeseen	Lattiatuet ja tukitangot	Kiinnityskorvake
Paikoitus	Ajo, teline, kamerat, maatuet, sivukallistus, pystyynnosto ja näköyhteys	Nosturi ja näköyhteys
Telineen ja porausmoduulin siirrettävyys tasaisella	Nosturilla tai trukkipiikeillä yhdessä	Nosturilla yhdessä
Telineen ja porausmoduulin siirrettävyys muulloin	Teline trukkipiikeillä, porausmoduuli alustakoneella	Teline trukkipiikeillä, porausmoduuli alustakoneella
Telineen tukeminen	Ei	Ei
Mekaaninen rajapinta	Ruuvirajapinta: sivukallistusrunko-pystyynnostokorvake	Ruuvirajapinta: sivukallistusrunko-pystyynnostokorvake
Hydrauliikan rajapinta	Ryhmäpikaliittimet ja erilliset pikaliittimet	Kierrettävät letkuliitokset
Sähköjen rajapinta	Liittimet ja suojatulpat, liitinten parempi sijainti	Liittimet ja suojatulpat
Porausmoduulin toimintojen käyttö telineessä	Osittain, erillisellä tehoyksiköllä	Osittain, erillisellä tehoyksiköllä

Taulukossa 5.1 esitetyn vertailun myötä voidaan todeta, että vaihtopaikan vaatimuksia halutaan lieventää, mikä johtaa uudenlaiseen mekaaniseen toteutukseen. Merkittävimpänä uudistuksena on luopuminen porausmoduulin nostossa käytettävästä nosturista vaihtotilanteessa. Vaatimuksen syynä on erityisesti maanalaisten huoltotilojen rajalliset resurssit ja pitkä siirtomatka maanpäällisiin huoltotiloihin. Huoltohallin rakentaminen maan alle on kallista, minkä vuoksi siellä toteutetaan vain välttämättömät ja lyhytkestoiset huoltotoimenpiteet. Se ei siten sovellu porausmoduulin varastointiin. Kaivoksessa on tyypillisesti yksi tai useampia ramppeja, joita pitkin kulku kaivoksen tuotantotasolle tapahtuu. Rampin ruuhkautuminen ja mahdollinen koneen hajoamisesta johtuva liikenteen estyminen ovat kaivoksissa merkittäviä huolenaiheita niin turvallisuuden, kuin tehokkuudenkin kannalta. Ylimääräistä liikennettä halutaan välttää, mikä johtaa tarpeeseen suorittaa porausmoduulin vaihto maanalaisissa tuotantoperissä, tai huoltohallin läheisyyteen louhituissa varastotiloissa. Suunnittelussa on kuitenkin varauduttava myös maanpäällisessä hallissa tai pihalla tapahtuvaan vaihtoon. Mikäli porausmoduulin vaihto tapahtuu kaivokselta toiselle kuljetuksen yhteydessä, porauspaikalta pintaan on lyhyt matka, tai maanalaiset olosuhteet porausmoduulin säilytykseen ovat liian haastavat, saattaa porausmoduulin vaihto pinnalla olla järkevämpi vaihtoehto. Rhino 100 -koneita on toimitettu myös sellaisille kaivoksille, joilla ei ole ollenkaan porausmoduulin nostamiseen kykenevää nosturia, jolloin ainoaksi vaihtoehdoksi jää koneen ja operaattorin suoriutuminen tehtävästä itsenäisesti, tai ulkopuolisen nosturiurakoitsijan käyttö.

5.3 Konseptisuunnittelu

Porausmoduulin vaihtoprosessi jaettiin työvaiheiden ja tärkeiden komponenttien perusteella osiin, joihin hahmoteltiin useita ratkaisuvaihtoehtoja. Päätökset valittujen ratkaisuvaihtoehtojen muodostamasta vaikutusrakenteesta tehtiin pääasiassa suunnittelijoiden

kokemuksen perusteella, eikä niiden tarkempaa analysointia katsottu tarpeelliseksi. Taulukon 5.2 riveille jaettujen osaongelmien ratkaisuvaihtoehdot on listattu taulukon sarakkeisiin. Valitut osaratkaisut on korostettu vihreällä taustavärillä taulukkoon 5.2.

Taulukko 5.2 Porausmoduulin vaihdon osaratkaisuja, valinnat vihreällä korostetuna.

Mek. rajapinta	Vanha, ruuveilla	Levennetty, ruuveilla	Koukut ja tapit		
Hyd. rajapinta	Kierrelitokset	Erilliset pikaliittimet	Ryhmäpikaliittimet	WEO-liittimet	
Sähk. rajapinta	Nykyiset liittimet	Paremmiin sijoitetut liittimet	Ei liittimiä		
Oikean kytkennän varmistus	Merkinnät	Muoto	Vain yksi iso liitin		
P.mod. tuenta	Ripustaminen ylhäältä	Lattiatukien alta	Kangenkäsitte- lijän tapeista	Johdepalkeista	Sitominen nostopisteistä
Vaihtopaikan siirto	Käsivoimin	Konevoimin	Kokonaisena	Osina	
Vaihtoon tarvittavat toimitteet	Maatuet	Lattiatuet	Erillinen nostoväline, esim. talja	Liikkuva porausmoduulin teline	
Paikoitus	Laser	Mekaaninen ohjain	Peruutus-kamera	Lisäkamera	Kauko-ohjain
Hydraulitehon tuottaminen vaihtopaikalla	Sähköverkko + poralaite	Generaattori + poralaite	Alustakoneen hydraulikka	Alustakoneen hydraulikka + poralaite	Ulkopuolinen hydraulikka

Kuten edellisestä taulukosta havaitaan, joihinkin osaongelmiin valittiin useampia osaratkaisuja, jolloin näiden yhdistelmästä muodostuu lopullinen osaratkaisu. Esimerkiksi hydraulikan rajapinnan toteutukseen halutaan antaa valinnanvaraa, sillä suurten ja pienten linjojen toteutusta ei välttämättä kannata sitoa samantyyppiseen ratkaisuun. Vaihtopaikan siirrossa puolestaan halutaan jättää käyttäjälle valinnanvaraa, minkä vuoksi telineen siirron on sujuuttava sekä kokonaisena että purettuna. Paikoituksessa, eli rajapintojen

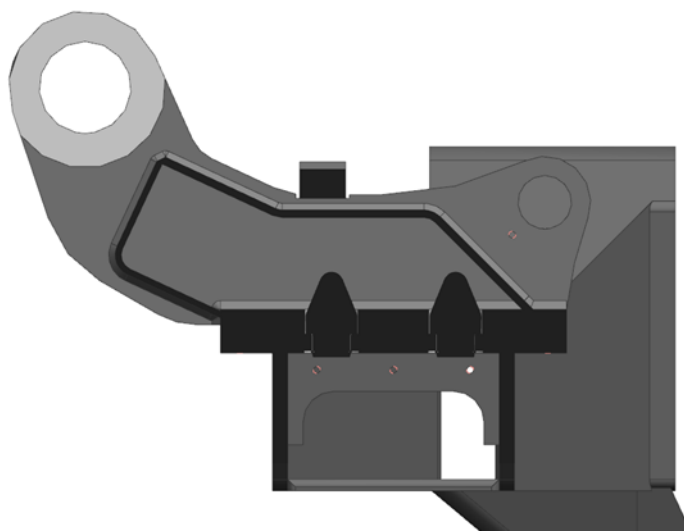
kohdistamisessa lopullisen ratkaisun tekeminen jätettiin myöhempään suunnitteluvaiheeseen, jolloin laitteen toimintatapa ja haasteet ovat paremmin selvillä. On myös todennäköistä, että paikoitukseen valitaan useampi ratkaisu.

5.4 Liitosrajapinnat

Koneen osan vaihdettavuuden suunnittelu vaatii jo alkuvaiheessa toimivan rajapinnan suunnittelua. Monia rajapintoja on standardoitu eri valmistajien tuotteiden yhteensovittamiseksi. Toisaalta muiden tuotteisiin yhteensopimaton rajapinta voidaan ajatella keinona asiakkaan sitouttamiseen. Mekaanisen rajapinnan toteutuksessa ei ole tarvetta yleisesti käytössä olevalle rajapinnalle, sillä avausnousunporauslaitteeseen kiinnitetään aina sitä varten suunniteltu porausmoduuli. Yleistyneitä rajapintoja on kuitenkin hyvä tarkastella, jotta osataan hyödyntää niiden hyviä ominaisuuksia omissa ratkaisuissa. Hydrauliikan ja sähköjen rajapinnat toteutetaan normaalisti osto-osilla, joten niiden suunnittelu tarkoittaa käytännössä komponenttien valintaa.

Mekaaninen rajapinta

Nykyisessä koneessa porausmoduulin kiinnitysrajapinta on sivukallistusrungon ja pysäyttynnostosylinterin korvakkeen ruuviliitoksessa. Korvakkeet paikoitetaan sivukallistusrungon ruuvirajapintaan ohjauskartioiden avulla kuvan 5.1 esittämällä tavalla, jolloin ruuveja kiinnitettäessä asentajan tarvitsee vain kiertää ruuvit kierteelle ja kiristää. Asennus on sujuvampaa ja turvallisempaa, kun konetta tarvitsee siirtää vain kartioiden ohjaustarkkuudella, eikä ruuvireikien kohdistusta tarvitse varmistaa katsomalla.



Kuva 5.1 Porausmoduulin ja sivukallistusrungon välinen korvake kohdistetaan kartioiden avulla.

Rajapinnan uudelleen suunnittelua pidettiin yhtenä vaihtoehtona, mikäli olisi mahdollista saavuttaa merkittävä etu porausmoduulin liitettävyydessä. Tätä lähtökohtaa puolsi myös kuvan 5.2 osoittama tuotannosta tullut palaute nykyisen rajapinnan hankalasta kiristettävyydestä. M20 ruuvit on Sandvikin työohjeen mukaan kiristettävä Nordlock aluslevyä käytettäessä 10.9 kovuudella 730 Nm ja 12.9 kovuudella 830 Nm momenttia käyttäen (Sandvik Mining and Construction Oy 2011). Näin suuren momentin aikaansaaminen vaatii tavallisiin koneenrakennuksessa käytettäviin työkaluihin nähden melko järeät välineet.

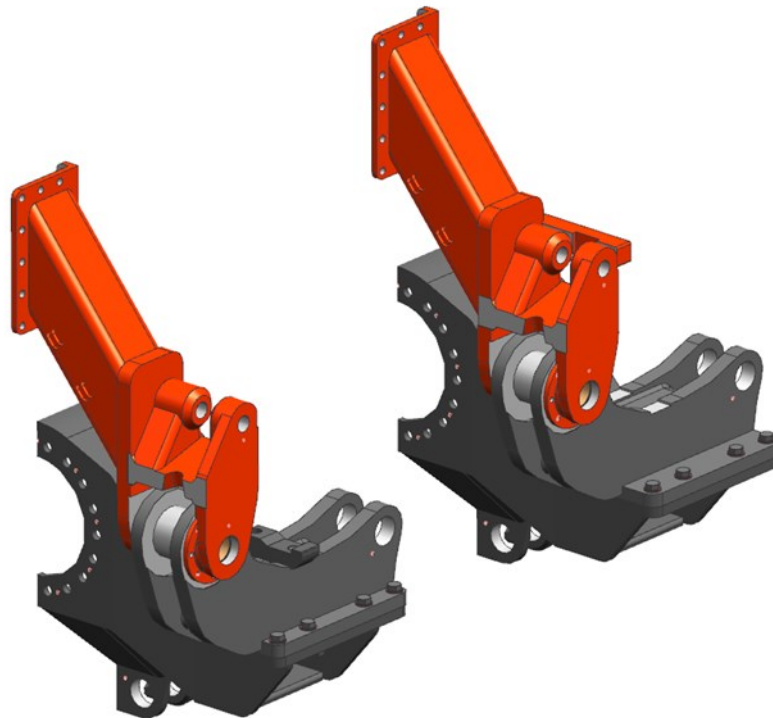


Kuva 5.2 Nykyinen ruuvirajapinta on liian kapea momenttiavaimen käyttöön ilman jatkovartta.

Nykyisessä rajapinnassa ruuvit ovat niin lähellä korvakkeen pystylevyjä, että on käytettävä kuusiokoloruuveja ja jatkovartta momenttiavaimessa. Jatkovarren käyttö tekee kiristystyökalusta epävakaan, kun työkalun varsi siirtyy kauemmas kiristettävän ruuvin kannasta. Kuvan 5.3 mukaisessa uudessa rajapinnassa kiinnitysruuvien ympärille jätetty suurempi tila antaa vapauksia kiristystyökalun valintaan, jolloin valinta voidaan tehdä ensimmäisen version testauksessa tehtyjen havaintojen perusteella, tai jättää asiakkaan päätettäväksi.

Ruuvirajapinnan leventämisen lisäksi korvakkeiden vapaareikiä on hyvä väljentää hieman, jotta reiät kohdistuvat varmasti kartioiden antamalla ohjauksella. Myös korvakkeen

päälle kiinnittyvä kangenkäsittelijän varren rajoitinpala on siirrettävä kuvassa 5.3 näkyvään paikkaan kangenkäsittelijän varrelle, jotta sitä ei tarvitse irrottaa kiristystyökalun tieltä porausmoduulia vaihdettaessa.



Kuva 5.3 Uudessa rajapinnassa (oik.) ruuvien etäisyys korvakkeeseen on kasvanut ja rajoitinpala on siirretty pois ruuvirajapinnan tieltä.

Nykyisen kiinnitysrajapinnan suurin puute porausmoduulin vaihdon kannalta on se, että rajapintaa ei voi kiinnittää pelkästään koneen liikkeillä. Kaksi vaakasuuntaista tasopintaa eivät lukitu ilman liikkuvaa tai erikseen lisättävää lukituselementtiä, kuten lukitussalpaa tai ruuvia. Porausmoduulin massakeskipiste ei myöskään sijaitse tukipinnan alueella porausmoduulin ollessa pystyasennossa, joten ilman ruuvikiinnitystä porausmoduuli kaatuu taakse päin. Vaikka tietyssä kallistuskulmassa massakeskipiste saataisiinkin tukipinnan kohdalle, on tukipinnan mitta koneen pituussuunnassa niin pieni, ettei tasapainon säilymiseen voi luottaa riittävästi.

Tyypillisissä pikakiinnitysrajapinnoissa, kuten kuvan 5.4 pyöräkuormaajan työvälinekiinnikkeessä ja kuvan 5.5 kaivinkoneen kauhakiinnikkeessä, toisessa osassa on koukut,

jotka tukeutuvat vastakappaleen putkeen tai tankoon. Massakeskipisteen ansiosta kiinnitettävä laite tukeutuu työvälinekiinnikkeen alempana olevaan vastinpintaan, johon se lukitaan tappien tai muun liikkuvan lukituksen avulla.



Kuva 5.4 Pyöräkuormaajan työvälinekiinnikkeessä kiinnitysrajapinta on pystyssä ja massakeskipisteen sijainti helpottaa kiinnitystä (Volvo Construction Equipment Finland Oy 2020 (vas.), Saxtorp Trading Ab 2020 (oik.)).



Kuva 5.5 Kaivinkoneessa kauhankiinnitys on hyvin samankaltainen kuin pyöräkuormaajassa, vaikka rajapinta ei ole pystyssä (Al-Bahar 2020).

Edellä kuvattujen kiinnitysrajapintojen erona porausmoduulin kiinnitystilanteeseen on, että kiinnitysrajapinta on tyypillisessä tapauksessa suurin piirtein samansuuntainen kiinnityksessä suoritettavan liikkeen kanssa, jolloin kiinnityskoukut on helpompi suunnitella

toimimaan painovoimaa hyödyntäviksi. Tavallisessa tilanteessa kiinnitettävä osa on myös huomattavasti yksinkertaisempi, halvempi ja väärinkäyttöä kestävämpi, eikä siitä yleensä tarvitse poistaa epätarkkuuksia aiheuttavia välyksiä.

Pystysuuntaisen kiinnitysrajapinnan kehittämistä harkittiin, mutta nykyisen normaalikäytössä toimivan rajapinnan muuttaminen ruuvirajapinnan levennystä lukuun ottamatta todettiin työmäärän ja toiminnan epävarmuuden vuoksi kannattamattomaksi. Tuotannossa, porausmoduulin asennuksessa tehtyjen havaintojen perusteella varmistettiin rajapinnan toimivan hyvin porausmoduulia kiinnitettäessä, kun asennus tehdään nosturia käyttäen. Rajapinnan säilyttäminen nykyisen kuvassa 5.3 esitetyn tyyppisenä otettiin suunnittelun periaatteeksi.

Hydrauliikan ja sähköjen rajapinta

Hydrauliikan ja sähköjen aiemmassa suunnittelussa on huomioitu mahdollisuus irrotettavasta porausmoduulista niin, että jokainen porausmoduuli sisältää tarvittavat komponentit niissä tapauksissa, joissa ei voida käyttää yhteisiä alustakoneen kyytiin sijoitettuja komponentteja. Osassa sähköjohdoista on lisäksi liittimet porausmoduulin ja sivukallistusrungon välissä, mutta hydrauliikka-, rasva- ja vesilinjoihin on lisättävä pikaliitinrajapinnat. Aiemmassa suunnittelussa on päädytty haaroittamaan useita porausmoduulin molemmille puolille meneviä hydrauliikkalinjoja apurungolla, jolloin letkukoot ovat pienentyneet ja porausmoduulin puolelta toiselle kulkevien letkujen määrä vähentynyt merkittävästi. Tällöin myös sivukallistusrungon letkureitit on ollut helpompi hyödyntää tasaisesti. Porausmoduulissa ainoastaan syöttösylinterien linjat ja porausmoduulikohtaisten toimintojen venttiilipaketilta tulevat linjat, sekä rasvalinja haaroitetaan kulkemaan toiselle puolelle.

Pikaliitinrajapinnan suunnittelussa on huomioitava liitettävien letkujen suuri määrä, joka nykyisellään lisää virheellisen kytkennän riskiä ja hidastaa porausmoduulin vaihtoprosessia. Liitosrajapintojen suunnittelussa on tavoitteena poistaa täysin väärinkytkemisen mahdollisuus, jotta kiinnitystapahtumasta tulee sujuvampi ja mahdollisten vaaratilanteiden määrä pienenee. Liitinten keston ja käytettävyyden kannalta liitokset on hyvä keskitteä telineisiin hyvälle työskentelykorkeudelle ja suojata ne esimerkiksi kotelolla ja koko liittimen mekanismia suojaavalla tiivistyksellä. Myös letkujen kokoerot ja tiettyjen linjojen

korkeampi maksimipainetaso on huomioitava. Seuraavassa taulukossa on esitelty pika-liitinrajapinnan letkujen koot, määrät ja maksimipainetasot.

Taulukko 5.3 Letkulinjojen jako ryhmäpikaliittimiin ja erillisiin pikaliittimiin.

Toiminnot ≤ 20 MPa jos ei ole erikseen mainittu	Vasen puoli					Oikea puoli				
	Nyk. Koko	Nyk. Määrä	Uusi koko	Määrä ryhmäl.	Määrä erillään	Nyk. Koko	Nyk. Määrä	Uusi koko	Määrä ryhmäl.	Määrä erillään
Pyöritys (35 MPa)	20	2	20	0	2					
Kiertovoitelu	6	1	6	0	1					
Vuotolinja	12	1	12	0	1					
Kaulus	6	2	8	2	0					
Reiän huuhtelu	32	1	32	0	1					
Rasva	6	1	6	0	1					
Kuupan huuhtelu						12	1	12	0	1
Pölynsidonta						6	1	6	0	1
Sukin pesuri						6	1	6	0	1
Kangenkäsittelijä	6	2	8	2	0	6	2	8	2	0
Tarttuja						4	2	8	2	0
Lattiatuet	8	2	8	2	0	8	2	8	2	0
Kattotuet	8	2	8	2	0	8	2	8	2	0
Pystyynnostosylinterit	8	2	8	2	0	8	2	8	2	0
Porausmoduulin venttiili						8	2	8	0	2
Syöttösylinterit (32 MPa)						12	2	12	0	2
Kokojen mukaan ryhmiteltyinä	32	1	32	0	1					
	20	2	20	0	2					
	12	1	12	0	1	12	3	12	0	3
	8	6	8	10	0	8	8	8	10	2
	6	6	6	0	2	6	4	6	0	2
						4	2	4	0	0

Taulukon 5.3 perusteella voidaan todeta, että suurin osa linjoista on korkeintaan 20 MPa maksimipainetasolla ja NS8-letkukoolla. Näiden linjojen kytkemistä helpottaisi merkittävästi ryhmäpikaliittimien käyttö, jolloin kaikki liittimen letkut kytkeytyvät yhdellä lukituskahvan liikkeellä, eikä väärinkytkeä ole mahdollista. NS8-kokoisia, tai pienempiä hydraulikkalinjoja on koneen toisella puolella 12 ja toisella 14 kappaletta, jolloin molemmissa paikoissa voitaisiin käyttää samanlaista ryhmäpikaliitintä. Tämä helpottaisi tuotantoa, vähentämällä ostettavien nimikkeiden määrää ja toisaalta kasvattamalla samojen nimikkeiden ostomääriä. Suurimmat vakiokokoiset ryhmäpikaliittimet ovat kuitenkin NS8-koossa 12 paikkaisia, joten joitakin linjoja jää ryhmäpikaliittimen ulkopuolelle. Ryhmäpikaliittimiksi valittiin lopulta 10 x NS8 linjoilla olevat liittimet, sillä niiden valmistaja pystyi tarjoamaan liitinsuoraan lisätiivistyksen. Kyseisistä liittimistä oli myös aiempia kokemuksia kaivoskäytössä, joten niiden voitiin olettaa kestävän hyvin vaativia olosuhteita. Suurempiin linjoihin kannattaa käyttää yksittäisiä pikaliittimiä, jotka kestävät korkeamman painetason. Tällöin myös letkujen käsittely helpottuu, kun koko letkunippua ei tarvitse nostaa kerralla. Pikaliittimien väärinkytkeä voidaan estää liitinkoon, sijainnin ja uros-naaras-

eron avulla siten, että liitinrajapinnassa on vain yksi liitin, johon kukin linja sopii. Väärinkytkenmän mahdollisuuden poistuessa operaattorin ei tarvitse keskittyä miettimään letkujärjestystä.

Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin letkujen haaroituksen siirtämistä porausmoduuliin, jolloin liitettävien letkujen määrä olisi pienentynyt merkittävästi, mutta samalla letku- ja liitinkokoa olisi jouduttu kasvattamaan virtaushäviöiden pienentämiseksi. Porausmoduuli on avausnousunporauslaitteen osista kaikkein vaikeimmissa olosuhteissa, joten haastavampien letkureittien myötä kohoavaa vikaantumisriskiä ei haluttu ottaa varsinkaan porausmoduulin kohdalla.

Lisäksi todettiin, että haaroituksen toisen puolen pikaliittimen kytkemättömyys ei aiheuta runkorakenteen tai hydraulikomponenttien rikkoutumisriskiä. Erityisesti pysytyynnostosylinterien ja kangenkäsittelijän kohdalla riskiä tarkasteltiin, koska näissä tapauksissa hydraulisylinterit on mekaanisesti tahdistettu. Tällöin piiriin kytketyn sylinterin voima välittyy tahdistavan elementin, eli teräsrakenteen kautta tulpatulle sylinterille. Sylinteri toimii tällaisessa tilanteessa paineenmuuntimena, minkä vuoksi kytketyn sylinterin A-puolta paineistettaessa, tulpatun sylinterin B-puolen paine saattaa kohota merkittävästi järjestelmän maksimipainetasoa korkeammaksi. Nivelgeometrioiden poikkeavuudet, joita ei tässä tapauksessa eri puolten välillä ole, saattaisivat kasvattaa pinta-alasuhteen ansiosta kohoavaa painetta vielä lisää.

Vaikka paineen nousu ei aiheuta koneen rikkoutumisvaaraa, on silti syytä varmistua kaikkien liikkeiden toimivuudesta ennen koneen varsinaista porauskäyttöä. Pikaliittinten kytkentää helpottaisi paineenpoistotoiminto, joka vapauttaisi esimerkiksi päätyyn ajetun sylinterin, tai kytkemättömän pikaliittinlinjan käytössä muodostuneen paineen turvallisesti. Suurin pikaliittinten kytkentää vaikeuttava riski liittyy koneen lattia- ja kattotukiin, joiden lukkoventtiilit sijaitsevat apurungolla pikaliitinrajapinnan ja suuntaventtiilien välissä. Ohjaamalla tukien venttiilejä pikaliittimien ollessa irrotettuna, saattaa alustakoneen puoleiseen liittimeen jäädä paine, jota ei lukkoventtiilien vuoksi saa purettua. Näihin linjoihin olisi hyvä lisätä esimerkiksi mittauspikaliittimet, joiden kautta paineenpoisto onnistuu tarvittaessa turvallisesti. Toistaiseksi tällaisia toimenpiteitä ei kuitenkaan tehty.

Liitinrajapinnassa on huomioitava myös porauksen aikaisen tuennan varmistamiseen tarvittavan paineakun kytkeminen poraussuuntaan nähden vastakkaiselle puolelle. Tämä voidaan tehdä pikaliitinrajapinnan asennuksessa. TRB:n tuotevalikoimassa ei aiemmin ollut perinteistä nousuporaustapaa käyttävää konetta, jonka tuenta tapahtuisi hydraulisylintereillä katon ja lattian väliin pingottamalla. Perinteisen poraustavan haas-

teena on tässä kohdassa porausvoiman suunnan vaihtuminen siirryttäessä pilottiporauksesta avarrukseen. Pilottiporaus voidaan kuitenkin suorittaa pienemmällä syöttövoimalla, jolloin tuennan joustava puoli voi olla koko ajan pilottiporaussuuntaa vastaan. Perinteisen nousuporausmoduulin tuennan sylinterit ovat myös suuremmat, minkä vuoksi paineakun tilavuutta on kasvatettava tätä moduulia varten. Helpoin vaihtoehto on toisen

samanlaisen paineakun lisääminen alkuperäisen rinnalle, jolloin vältetään uuden paineakun maakohtaisten hyväksyntöjen aiheuttamalta lisätyöltä.

5.5 Porausmoduulin tuenta

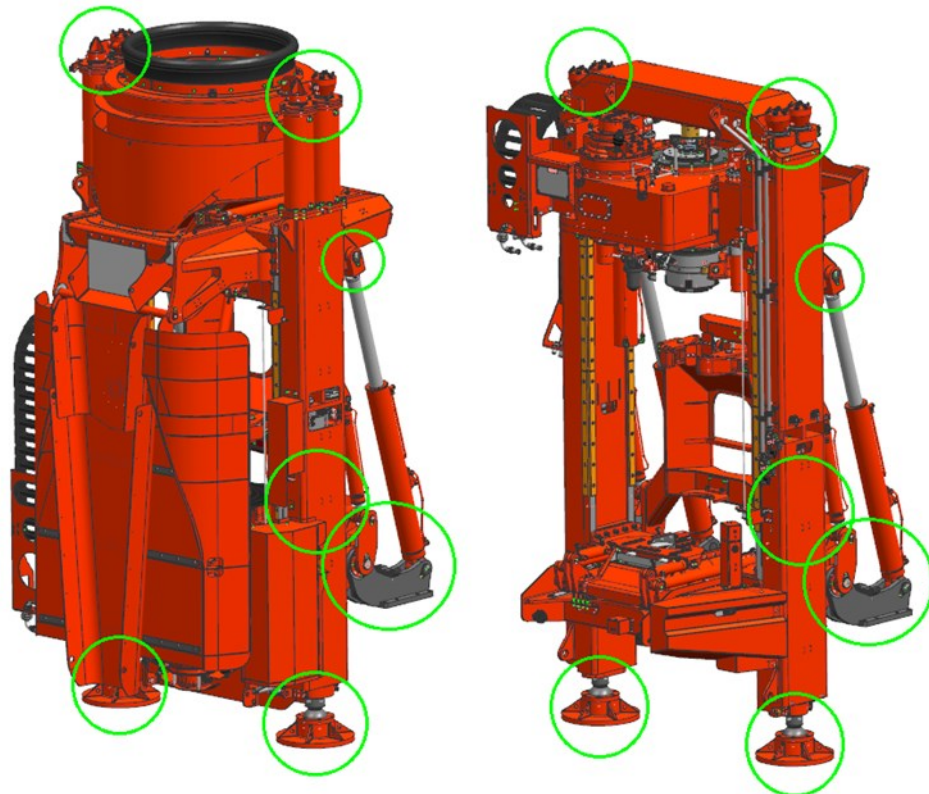
Porausmoduulia ei ole suunniteltu säilytettäväksi ilman apurunkoa tai pystyynnostosylinterien korvakkeisiin kiinnittyvää telinettä. Aiemmassa versiossa riitti, kun porausmoduuli voitiin nostaa kuvan 5.6 mukaisesti nosturilla koneen kyydistä telineeseen ja takaisin.



Kuva 5.6 Porausmoduulin asennus nosturilla.

Tukipisteiden valinta

Nosturilla tapahtuvassa vaihdossa hyödynnetään kahta porausmoduulien yhteistä rajapintaa, eli pystyynnoston sylinterien korvakkeita, sekä johdepalkkien yläpään ja mahdollisesti myös alapään nostolenkkejä. Muita yhtäläisyyksiä ylös- ja alaspäin poraavien moduulien välillä ovat kuvassa 5.7 näkyvät pystyynnoston ja kangenkäsittelijän nivelpisteiden sijainnit, hydraulisylintereillä tunneliin tukeutuminen ja muutama vapaa tila johdepalkkien kyljillä.



Kuva 5.7 Porausmoduulien yhteisiksi tukipisteiksi soveltuvat kohdat.

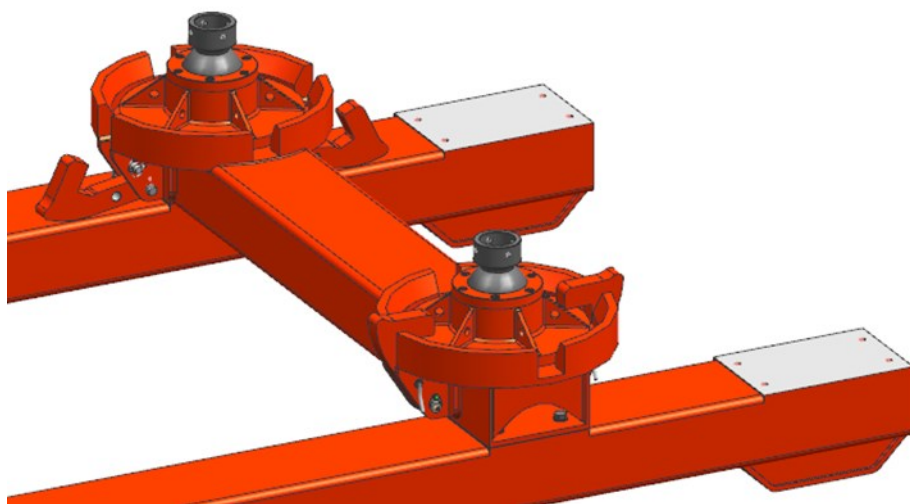
Myös vaihdelaatikoiden liikeradat ovat osittain yhteneviä. Merkittävimmät erot tukipisteiden paikkojen kannalta aiheutuvat ylöspäin poraavan moduulin moskakourusta, joka peittää lähes koko moduulin takaosan. Matala ja korkea yläkätinen porausmoduuli eroavat toisistaan vain moskanohjauksen ja kattotukien toiminta-alueen osalta, joten ylärungon alapuolisessa suunnittelussa niitä ei ole yleensä tarpeen erotella.

Kaikki yhteiset ominaisuudet huomioitiin tuennan suunnittelussa, mutta suurimman osan kohdalla ongelmaksi muodostui tuentaan käytettävien rajapintojen hankala sijainti. Johdepalkkien yläpään korvakkeet ja kattotuet ovat niin korkealla, että niiden hyödyntäminen tuettaessa vaatii kiipeämistä, porausmoduuliin kiinni jätettäviä pitkiä tukia, tai hyvin suurikokoista telineettä. Korkealla työskentely aiheuttaa helposti työturvallisuusriskejä ja

hidastaa vaihtoprosessia, minkä vuoksi kaikkien tukipisteiden haluttiin sijaitsevan alempana. Suurikokoinen teline puolestaan vaikeuttaisi merkittävästi kuljetusta tunnelissa, jolloin laitteen perusominaisuuksiin kuuluva nopeus ja joustavuus heikkenisivät merkittävästi. Yli 10:n tonnin massan tukeminen vaatii, että tukipisteiden on sijaittava riittävän kaukana toisistaan. Liian lähekkäin sijoitetut tukipisteet kuormittuisivat voimakkaasti, jolloin rakenteita jouduttaisiin suunnittelemaan kohtuuttoman järeiksi.

Lattiatuet ovat ylös- ja alaspäin poraavissa moduuleissa täsmälleen samassa kohdassa pystyynnostokorvakkeisiin nähden. Ne ovat myös järeätekoiset, sillä ne on suunniteltu kantamaan paljon porausmoduulin massaa suurempaa kuormaa. Lisäksi niiden sijainti on painopisteeseen nähden erinomainen. Näillä perusteilla tuennan lähtökohdaksi valittiin porausmoduulin tukeminen pääosin lattiatukien varaan. Lattiatukisylinterien päissä on pallonivelet, jotta tukien tassut pystyvät asettumaan tukevasti maata vasten kaikilla porauskulmilla. Vierekkäin sijoitetut pallonivelet muodostavat sarananivelen, joka tässä tapauksessa sallii porausmoduulin kiertymisen alustakonetta kohti tai siitä poispäin.

Lattiatukien liukuminen porausmoduulia kannattelevan tason päällä päätettiin estää tukevalla reunuksella. Tassun ja reunuksen väliin jätettiin reilu välys, jotta paikoitus onnistuu sujuvasti. Tassujen nouseminen haluttiin estää, jotta telinettä voitaisiin tarvittaessa siirtää hieman porausmoduulin irrotustilanteessa. Tassujen lukitseminen on toisaalta turvallisuudenkin kannalta välttämätöntä, vaikka lähes koko porausmoduulin paino kohdistuu niiden kautta telineeseen. Lukitusta varten suunniteltiin kuvassa 5.8 näkyvät tappi-kiinnitteiset lukituskyynnet, jotka kääntyvät tassujen päälle lattiatukien kaukalon reunan välistä.



Kuva 5.8 Lattiatukien pysyminen telineen päällä varmistetaan reunuksella ja lukituskyynsillä.

Lattiatukien alle tarvittavan tason lisäksi päädyttiin käyttämään standardoiduilla pallo-nivelpäillä varustettuja vanttiruuvityyppisiä tukitankoja porausmoduulin pystyssä pitämiseen. Kuvassa 5.9 näkyvän tangon toiseen päähän valittiin pikakytkentäkoura, jolloin kuula voidaan jättää vastinkappaleen tappiin kiinni kääntämällä kouran päällä olevaa lukitusalpaa.



Kuva 5.9 Porausmoduulin tukemiseen valittiin pikakytkentäkouralla varustettu vanttiruuvi.

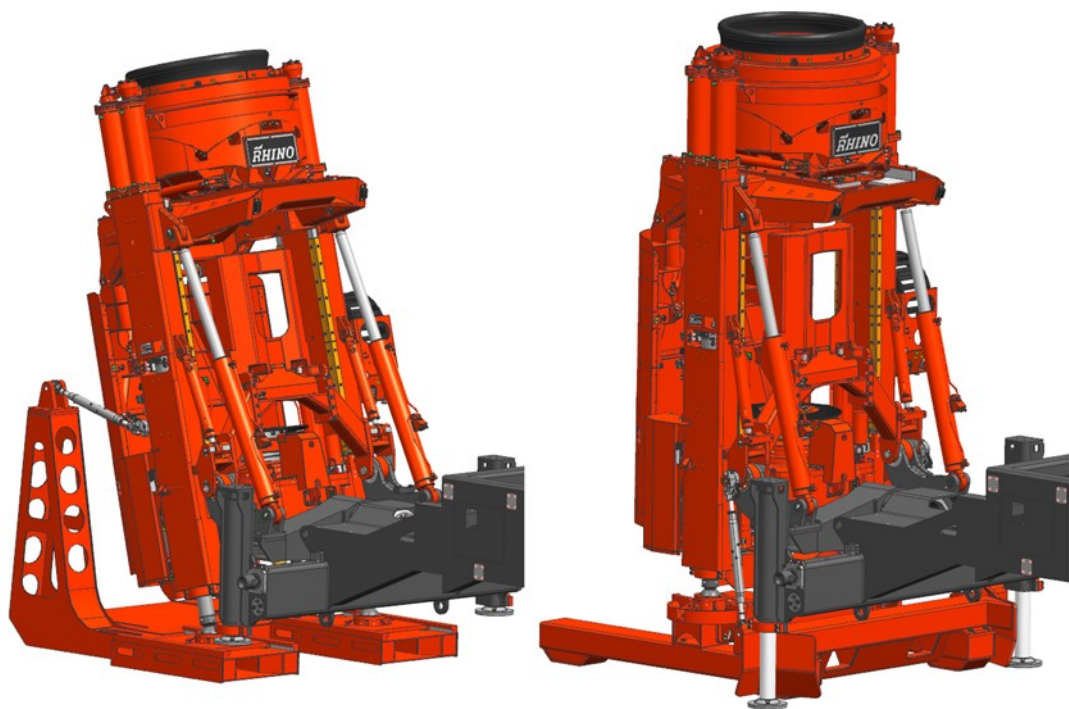
Tangot kuormittuvat normaalissa käytössä melko vähän, mutta kiinnityksen ja irrotuksen aikaiset lisäkuormitukset on huomioitava kasvattamalla tankojen varmuutta. Porausmoduulin ja telineen välille syntyneen sarananivelen lukitsemiseen riittäisi yksikin tukitanko. Kahteen tukitankoon on kuitenkin päädytty varmuuden lisäksi tuennan symmetrisyyden vuoksi, koska tällöin välyksistä aiheutuva porausmoduulin asentovirhe jää pienemmäksi.

Vanttiruuvien kiinnityspaikoiksi valittiin kangenkäsittelijän varsien tapit, jolloin johdepalkkeihin ei tarvinnut tehdä muutoksia, vaan vanhat kangenkäsittelijän tapit voitiin korvata jatketuilla versioilla, joihin lisättiin pikakytkentäkouraan sopivat kuulat. Kangenkäsittelijän ja porausmoduulin kallistuksen yhteinen korvake on valmiiksi järeätekoinen ja sen sijainti on käyttäjän kannalta erinomaisella korkeudella. Suurimpana haasteena on vanttiruuvien pieni etäisyys sivukallistusrunkoon ja hydraulikkaletkuihin. Telineen puoleiset vanttiruuvien korvakkeet on esitelty myöhemmin luvussa 5.6.

Porausmoduulin vaihtotelineen ja tukitankojen suunnitteluun vaikutti merkittävästi tapa, jolla porausmoduulin ja sivukallistusrungon erottamiseen tarvittava pystysuuntainen liike päätettiin toteuttaa. Vaihtoehtoina oli hyödyntää koneessa olevia toimilaitteita, tai lisätä telineeseen uusia. Vaihtotilanteen logistiikassa on huomioitava, että jokainen porausyksikkö tarvitsee oman telineensä, vaikka ne olisivatkin identtisiä. Toimintavarmuuden ja edullisemman hinnan takaamiseksi, telineen teknisistä ratkaisuista haluttiin tehdä mahdollisimman yksinkertaisia, joten päädyttiin käyttämään koneen toimilaitteita. Ohjauksen

kannalta tämä oli myös hyvä ratkaisu, koska kaikki venttiilit, joita täytyy ohjata vaihdon aikana, on keskitetty apurungolle.

Sekä lattiatukien että maatukien käyttöä porausmoduulin nostossa selvitettiin kehittämällä kumpaankin vaihtotapaan sopivaa telinettä, tutkimalla pystysuuntaisen liikkeen aikaansaavaa geometriaa ja analysoimalla hydrauliikkajärjestelmää. Kuvassa 5.10 vasemmalla, porausmoduuli on lattiatuilla tapahtuvaan nostoon kehitetyssä telineessä. Samassa kuvassa oikealla on jatkokehitykseen valittu ratkaisu, jossa vaihtotilanteen nostoliike suoritetaan maatuilla.



Kuva 5.10 Porausmoduulin telinevaihtoehdot lattiatuilla (vas.) ja maatuilla (oik.) tapahtuvassa nostossa.

Lattiatuilla nostamisen merkittävimiksi haasteiksi nousivat irrotuksessa apurungon ja porausmoduulin väliset letkut, sekä lattiatukien tahdistamattomuus. Rinnankytkennän vuoksi öljy saattaa virrata lattiatukisylinteristä toiseen, tai nostettaessa vain helpommin liikkuvaan sylinteriin, jolloin porausmoduuli kallistuu. Erityisesti sylinterien pantakiinnityksestä johtuvien, merkittävien kitkaerojen vuoksi sylinterien tahdistamista vaativaa toteutusta haluttiin välttää. Normaalikäytössä tahdistaminen olisi pitänyt saada pois käytöstä, mikä olisi edelleen lisännyt ratkaisun monimutkaisuutta.

Myös lattiatukien erillishallinnan toteuttamista ja letkujen liitettävyyttä pohdittiin. Nykyisessä konstruktiossa lattiatukien yhteiset kuormanlaskuventtiilit sijaitsevat apurungolla, eivätkä ne estä porausmoduulin kallistumista, eli virtausta sylinteristä toiseen porausmo-

duulin ollessa irrotettuna lattiatukien varassa. Pelkkä letkujen irrotettavuuden mahdollistava kuormanlaskuventtiilien ja haaroitusten siirto porausmoduuliin ei siten riittäisi, vaan vaadittaisiin erilliset suuntaventtiilit, linjat ja porausmoduulissa sijaitsevat kuormanlaskut kummallekin lattiatuelle. Porauksen aikana virtaus sylinteristä toiseen on kuitenkin sallittava sylinterien tasaisen kuormituksen varmistamiseksi, joten hydraulikkalinjoihin vaadittaisiin kytkentämuutos porausmoduulin vaihtotilanteen ja poraustilanteen välillä. Lattiatukisylinterien erillisohjauksessa käyttäjä olisi voinut silmämääräisesti tahdistaa sylinterit. Ratkaisu olisi kuitenkin vaatinut käyttäjältä erityistä huolellisuutta sylinterien käytössä, sillä lattiatukien liikettä on hankala rajoittaa väliaikaisesti. Ohjausjärjestelmään olisi ollut mahdollista tehdä venttiilin aukioloaikaan perustuva rajoitus, mutta ratkaisu olisi saattanut heikentää käytettävyyttä. Väliaikaisen mekaanisen iskunpituuden rajoittimen tekeminen olisi myös ollut mahdollista, mutta se olisi vaatinut lattiatukien painetason laskua vaihtotilanteessa, jotta rajoittimesta ei olisi tullut kohtuuttoman järeää.

Nostoliikkeen toteuttamiseen valittiin parempien ominaisuuksien vuoksi maatumisylinterit. Apurungon kallistaminen pienen sivusiirron aikaansaamiseksi, on mahdollista erillisillä suuntaventtiileillä ja kuormanlaskuilla toteutettujen takamaatukien ansiosta. Rinnan kytketyt etumaatuet sallivat sivusuuntaisen kallistumisen ja mahdollistavat pituussuuntaisen kallistuskulman hallinnan yhdessä takamaatukien kanssa. Pystysuuntaisen liikkeen vuoksi ei siten tarvitse tehdä mitään muutoksia. Maatuilla tapahtuvan noston heikoutena on erityisesti pituussuuntaisen paikoituksen virheiden korjaaminen. Etu- ja takamaatukien nostokorkeuksien välistä eroa muuttamalla ei voida juurikaan vaikuttaa sivukallistusrungon pituussuuntaiseen sijaintiin, vaan apurunko on laskettava kyytiin ja siirrettävä konetta ajamalla.

Telineen suunnittelu

Porausmoduulin telineeseen vieminen alkaa koneen peruutuksella, jolloin moduulin on oltava kuljetusasennossa. Kun kone on peruutettu oikeaan kohtaan, nostetaan apurunko niin ylös, että porausmoduuli mahtuu kääntymään pystyyn. Apurunkoa on siis nostettava lattiatuilla siten, että porausmoduulin tassut mahtuvat liikkumaan reunustettujen kiinnityspaikkojensa yläpuolelle. Tämän jälkeen tassut lasketaan tukipinnan päälle. Moduulin tuennan ja irrotuksen jälkeen apurunko lasketaan takaisin koneen kyytiin ja ajetaan pois. Irrotuksessa on huomioitava, että kallistusrungon ja porausmoduulin erottaminen vaatii niin paljon laskuvaraa, että rajapinnan kartiot eivät osu porausmoduulin korvakkeisiin

poistuttaessa. Porausmoduulin hakeminen telineestä tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä, joten vaatimukset telineen korkeudelle ovat molemmissa työvaiheissa samat.

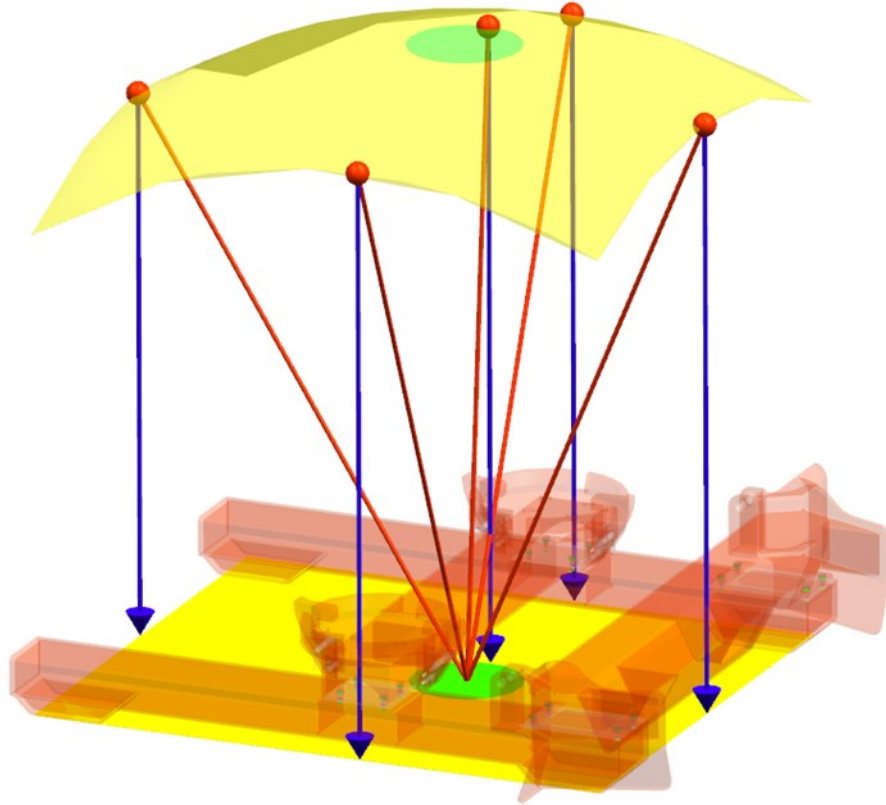
Tukipinnan korkeus on määritettävä siten, että apurungon noston ja laskun liikevara saadaan jaettua sopivasti tavoitellun toiminta-alueen molemmin puolin. Maatukien iskunpituudesta puolet kuluu kuljetusasennosta maakosketukseen pääsemiseen, minkä jälkeen apurunkoa on nostettava niin korkealle, että tassut mahtuvat kääntymään telineen reunan yläpuolelle. Korkea reuna mahdollistaa lattiatukien tassujen lukituksen ja paikoituksen tekemisen tarpeeksi väljäksi, jolloin käsin tapahtuvassa lukituskynsien kääntämisessä ilmenevät ongelmat vähenevät. Myös tassujen kallistuminen pallonivelissä, sekä alustan epätasaisuuksien huomioiminen lisäävät liikevaran tarvetta nosto- ja laskutilanteissa. Vaihtoprosessissa on kuitenkin tärkeämpää, että kallistusrunko saadaan varmasti laskettua riittävän alas, vaikka nostovara loppuisikin jossain ääritilanteessa kesken. Nostovaraa voidaan nimittäin kasvattaa lisäämällä maatukien alle tukevia korokkeita, kuten vaneria. Laskuvaran kasvattaminen vaatisi käytännössä moduulin uudelleenkiinnitystä ja telineen korottamiseksi, mikä olisi paljon hankalampaa.

Lattiatukia varten tarvittavan tason korkeuden lisäksi on huomioitava telineen ja siihen kiinnitetyn porausmoduulin pystyssä pysyminen, sekä suunniteltava tukitankojen kiinnityspisteet ja ohjain, jonka avulla koneen asemointi telineeseen nähden onnistuu helposti. Ohjaimen ja kiinnityskorvakkeiden suunnittelu käsitellään luvussa 5.6. Kappaleen pystyssä pysymisen edellytyksenä on massakeskipisteen säilyminen tukipinnan yläpuolella. Kaatokulman määrittää siis tukipinnan koko ja massakeskipisteen sijainti. Tukipinta on kappaleen ulommaisten tukipisteiden rajaama alue, eli tässä tapauksessa telineen jalokojen maahan rajaama tasopinta, jonka kasvattamista rajoittaa telineen siirtäminen tunnelissa ja yleisellä tiellä.

Ylöspäin poraavan, pystyasentoon käännetyn moduulin massakeskipisteen arvioitiin sijaitsevan 1900 mm sisään vedettyjen lattiatukien alapinnan yläpuolella, 60 mm lattiatukisylinterien keskilinjan takapuolella ja sivusuunnassa porausakselilla, eli lattiatukiin nähden keskellä. Vastaavat lukemat alaspäin poraavalla moduulilla ovat 2600 mm, 40 mm ja sivusuunnassa keskellä. Telineen ja porausmoduulin yhteistä massakeskipistettä tarkasteltaessa lukemat muuttuvat ylöspäin poraavassa 2100 mm:iin maanpinnasta ja 30 mm:iin lattiatukien edessä, sekä alaspäin poraavassa 2700 mm:iin maanpinnasta ja 10 mm:iin lattiatukien edessä, sivusuunnan säilyessä keskellä.

Ohjekirjan mukaan suurin sallittu kallistuskulma ajon ja pysäköinnin aikana on sivusuunnassa $\pm 5^\circ$ ja ajosuunnassa $\pm 15^\circ$. Vaihtopaikan suurimmaksi kallistuskulmaksi määritellään todennäköisesti pienempi arvo, kuin sivusuuntaisen kallistuksen maksimikulma.

Suunnittelun lähtökohtana pidetään kuitenkin $\pm 5^\circ$ kaikkiin suuntiin. Vakauden kannalta hankalammassa tilanteessa, eli alaspäin poraavalla moduulilla tämä tarkoittaa vähintään kuvassa 5.11 vihreänä näkyvää tukipintaa.

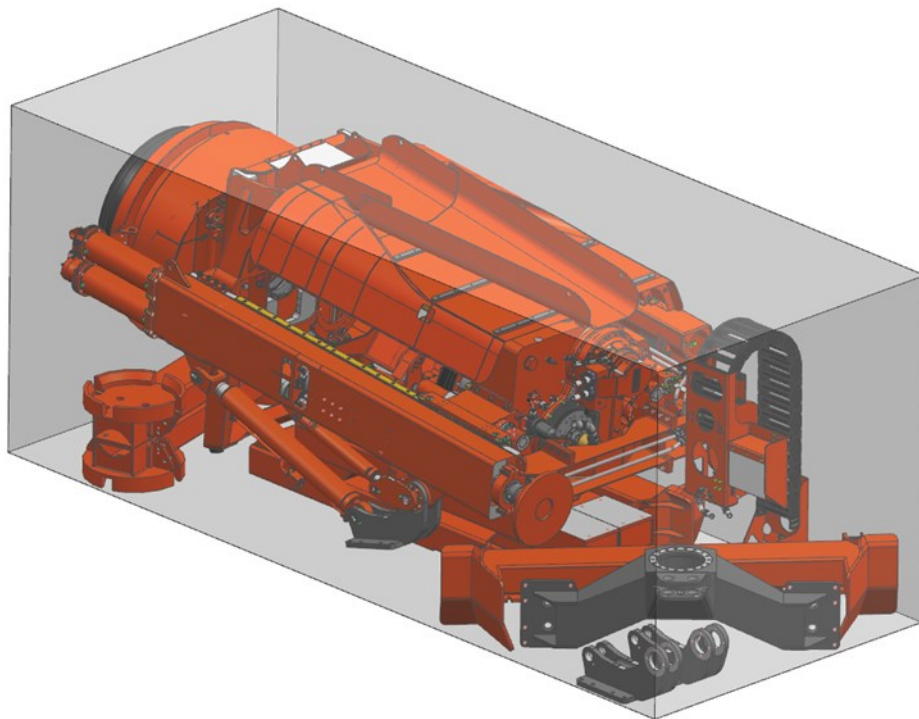


Kuva 5.11 Telineen tukipinta (kelt.) ja vaadittu tukipinta 5° kaatokulmalla (vihr.).

Porausmoduulin paikoitustilanteesta riippuva kallistaminen ajosuunnassa muuttaa hie-
man painopisteen sijaintia, mikä on huomioitava tukipinnan minimikoossa. Käytännössä
tukipinnan on oltava paljon suurempi, kuin 5 asteen kaatokulman määrittämä minimiko-
koinen ympyrä, jotta olosuhteista ja käytöstä johtuvat tekijät eivät kaada porausmoduulia
telineineen. Telineen tukipinnaksi määritetään kuvassa 5.11 keltaisella merkitty $2 \times 2,5$
metrin alue. Tällä mitoituksella, alaspäin poraavalla moduulilla kaatokulmaksi tulee mo-
lemmille sivuille, sekä alustakoneen suuntaan 23° ja alustakoneesta poispäin 32° . Po-
rausmoduulin takana on hyvä olla suurempi kaatokulma, sillä apurungolla nostamalla
voidaan kallistaa telinettä ja porausmoduulia merkittävästi vaihtotilanteessa. Oranssit
pallot kuvaavat porausmoduulin ja telineen yhteisen massakeskipisteen sijaintia eri
suuntien kaatokulmilla. Kaatokulmien tarkastelusta huomataan, että suunniteltu tukipinta

antaa reilusti varmuutta porausmoduulin ja telineen pystyssä pysymiseen sallitulla 5 asteen kallistuskulmalla. Telineeseen olisi hyvä liittää yksinkertainen kallistuskulman osoitin, jotta käyttäjän olisi helpompaa varmistaa turvallisella alueella pysyminen.

Telineen mahtuminen tarvittaessa hyvinkin pieneen tilaan on etu niin toimituksen, kuin kaivoksen sisäisen logistiikan kannalta. Pitkien matkojen toimitukseen ajatellun 20 jalan merikontin sisäpituus on 5867 mm, sisäleveys on 2330 mm ja sisäkorkeus 2370 mm tai 2690 mm. Ovi saattaa pienentää lastausleveyden 2286 mm:iin. Suurin sallittu kuorman paino on 20–28 tonnia. (Logistiikan Maailma, 2020) Pelkkiä telineitä ei välttämättä kannata lähettää kontilla, minkä vuoksi niitä sovitetaan kuvassa 5.12 toisen porausmoduulin, sivukallistusrungon ja korvakkeiden kanssa matalampaan merikonttiin. Näin voitaisiin kuljettaa kaikki porausmoduulin vaihto-option vaatimat varusteet kerralla ja samalla hyödynnettäisiin tehokkaasti merikontin kuljetuskapasiteetti. Tavallisessa toimituksessa avausnousunporauslaite kuljetetaan lavetilla ja ajetaan varusteineen laivaan, minkä lisäksi porauskaluston osia ja varaosia saatetaan toimittaa kontilla tai trukkilavalla.



Kuva 5.12 Porausmoduulin, kiinnitysraja- ja vaihtotelineiden sekä sivukallistusrungon ja korvakkeiden pakkaaminen 20 jalan merikonttiin.

Porausmoduuli mahtuu kuvan 5.12 mukaisesti konttiin, mikäli johdepalkkien sivuille tulevat osat asennetaan vasta kuljetuksen jälkeen. Samaan konttiin on mahdollista pakata myös kaksi porausmoduulin vaihtotelineitä, sekä muuttuneen kiinnitysraja- ja vaihtotelineen vuoksi jälkiasennustilanteessa vaihtuva sivukallistusrunko ja porausmoduulin kiinnityskorvak-

keet. Tämän tavan suurimpana haasteena on johdepalkkien sivuille asennettava hydraulikka, sillä toimituksen jälkeinen asennus edellyttäisi lisätyötä ja uutta testausta asiakkaan luona. Tämän vuoksi moduulin toimituksessa päädyttiin käyttämään flat rack -konttia, jossa kuorma voi tulla sivuilta yli.

5.6 Paikoitus

Avausnousunporauslaitteen paikoitus on jokapäiväinen työvaihe. Tavallisesti kone asennetaan porauspaikalle putkitelineen etupäässä sijaitsevien viivalasereiden ja tunnelin kattoon ja seiniin maalattujen merkkien avulla. Porauksen tarkkuusvaatimus on kuitenkin selvästi vähäisempi, kuin sivukallistusrungon ohjauskartioiden ja porausmoduulin korvakkeiden välinen vaatimus. Näin ollen pelkkä paikoituslaserien käyttäminen ei riitä takaamaan sujuvaa porausmoduulin vaihtoa. Yksi Rhino 100:n vahvuuksista on valmiin avausnousun tekeminen vain yhden operaattorin työpanoksella. Sama vaatimus on toteutettava myös porausmoduulin vaihdossa. Tällöin toisen henkilön käyttö tarkkailijana ja kuljettajan opastajana ei ole ratkaisuvaihtoehto, vaan on käytettävä muita keinoja tarkempaan paikoitukseen. Toisen henkilön paikallaolo lisäisi myös henkilövahingon riskiä, kun konetta voisi liikuttaa vaara-alueella olevan henkilön tietämättä. Koneen oma peruutuskamera ei näytä hyvin aivan koneen läheisyydessä olevia kohteita, joten tarvitaan muutoksia paikoituksen helpottamiseksi.

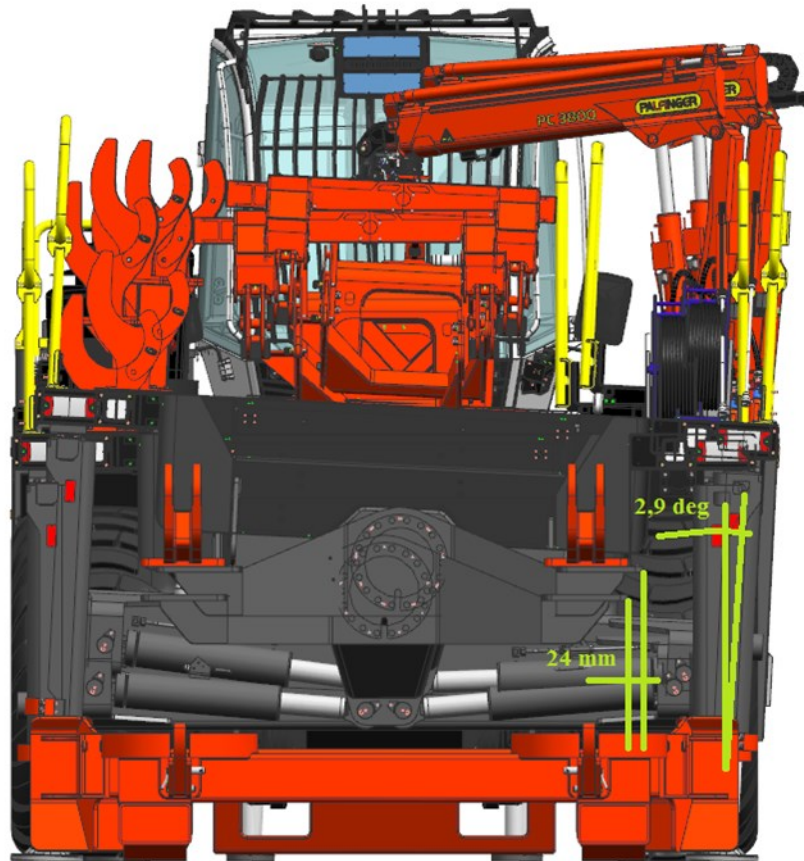
Ohjain

Porausmoduulin kiinnitysvaiheessa on vältettävä porausmoduulin rikkoutumismahdollisuuksia alustakonetta peruutettaessa. Sivukallistusrungon ja johdepalkkien, samoin kuin lokasuojan ja pystyynnostosylinterin törmäys voidaan parhaiten estää mekaanisella rajoittimella, sillä se on toimintavarma ja sen käyttötapana on helppo ymmärtää. Rajoittimen paikoitustarkkuus riittää tasaisella alustalla ohjaamaan sivukallistusrungon ohjauskartiot porausmoduulin korvakkeiden ohjausreikien kohdalle, kun kone peruutetaan telinettä päin.

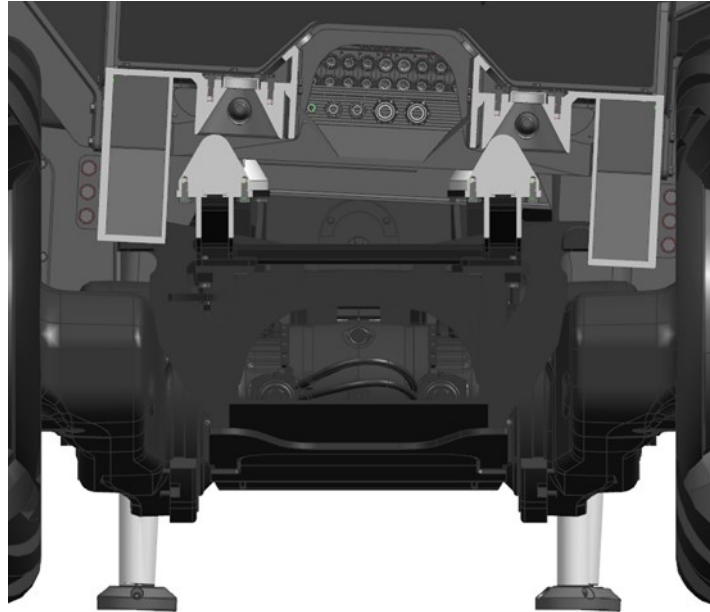
Paikoituksen kannalta porausmoduulin jättäminen telineeseen vaikuttaa helpommalta työvaiheelta, koska peruutuksen epätarkkuutta voidaan korjata pystyynnoston ja sivukallistuksen avulla. Telinettä voidaan edellä mainittujen avulla jopa siirtää hieman, kun lattiatuet on lukittu kaukaloihin. Toisaalta maatukien hallinta on ollut haastavampaa nimen-

omaan apurunkoa laskettaessa. Porausmoduulin kiinnittäminen vaatii peruutustarkkuutta erityisesti ajosuunnassa, koska siinä pystyynnosto ei ole käytettävissä, eikä maatuilla tehtävistä korjauksista ole juurikaan apua.

Sivusiirtoa ei lähtökohtaisesti käytetä, mutta tarvittaessa sitä on mahdollista tehdä kuvan 5.13 mukaisesti 24 mm kummallekin puolelle kallistamalla apurunkoa n. 2,9° maatuukien avulla. Kiinnitysrajapintojen välille syntynyt kulmavirhe korjataan tällöin kallistamalla sivukallistusrunkoa vastakkaiseen suuntaan.



Kuva 5.13 Pieni sivusiirto onnistuu maatuukien ja sivukallistuksen avulla.

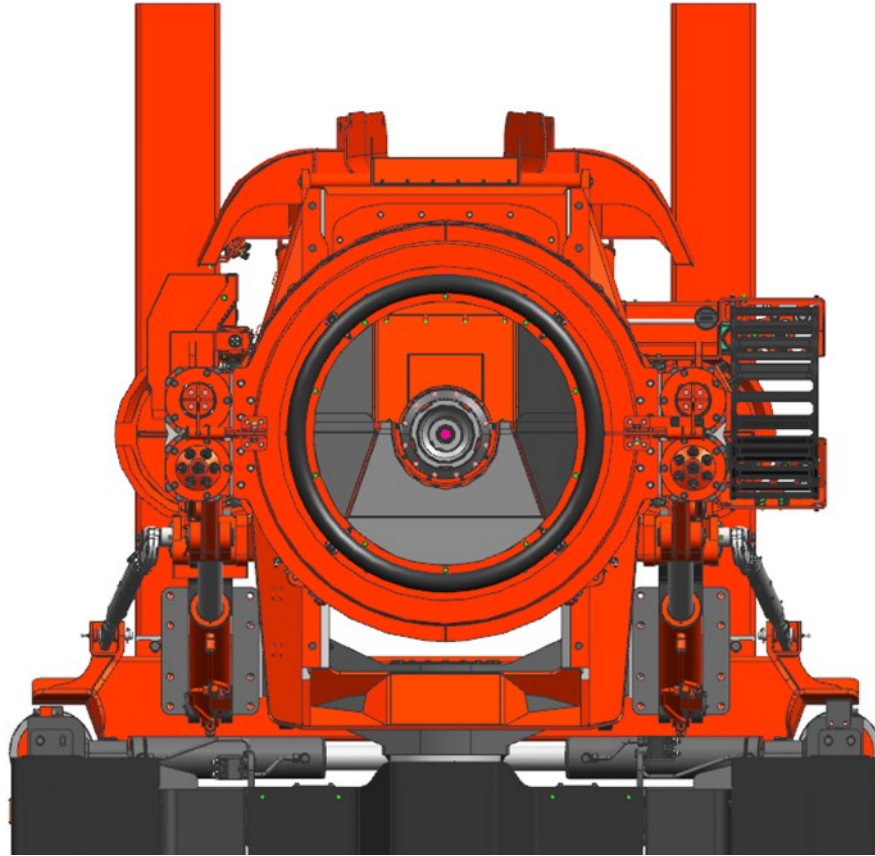


Kuva 5.14 Apurungon lukituskartiot rajoittavat kallistusta.

Kuvasta 5.14 nähdään, että apurungon lukituskartiot rajoittavat kallistusta alustakoneen rungon lähellä liikuttaessa. Paikoitusta on mahdollista korjata ajosuunnassakin säätämällä porausmoduulin tukitankojen pituutta. Paikoituksen korjaaminen ilman alustakoneen siirtoa on kuitenkin tarkoitettu vain hienosäätöä varten ja varsinaisen paikoituksen on tapahduttava konetta ajamalla.

Peruutuksen mekaanisen rajoittimen, eli telineen ohjaimen törmäyspinnoiksi apurungon puolelta valittiin takamaatukien tassut ja takamaatukisylinterin kiinnikkeet. Törmäyspisteiden on oltava kestäviä, sillä törmäävät massat ovat kiinnitysvaiheessa suuria. Porausyksikön ja telineen yhteenlaskettu massa on 11 tonnia ja avausnousunporauslaitteen massa ilman porausmoduulia 35–39 tonnia. Törmäyspisteiden valintaan vaikutti luonnollisesti myös sijainti, sillä törmäävien pintojen tiellä ei saa olla muita osia. Törmäyspisteet haluttiin mahdollisimman alas, jotta törmäyksessä mahdollisesti liikkuva teline ja siihen

liitetty porausmoduuli eivät alkaisi kallistua taakse tai kaivautua murskepohjaan. Kun törmäyspisteet ovat painopisteen alapuolella, edellä mainittua tilannetta ei pitäisi merkittävästi tapahtua.



Kuva 5.15 Ohjain määrittää apurungon sijainnin telineeseen nähden.

Ajosuuntainen paikoitus tapahtuu kuvan 5.15 osoittamalla tavalla pintojen kohtisuorana törmäyksenä, jolloin kohdistus onnistuu melko tarkasti. Sivusuuntainen paikoitus ohjaimessa tehdään kiilamaiseksi, jotta peruuttaminen olisi helpompaa ja toisaalta vältettäisiin telineen takertumista apurunkoon. Sivusuunnassa ohjaimen ja apurungon sovitukselta tulee siten väljempi, jolloin paikoitustarkkuus heikkenee, mutta toisaalta käytettävyys paranee. Ohjaimen törmäyslevyjä on taitettu alhaalta, jotta maatukien tassut eivät jäisi jumiin telineen alle kuljetusasentoon siirryttäessä. Levyjen yläreunaa on vastaavasti taitettu, jotta apurunko ei jäisi kannatukseen telineen päälle, mikäli teline sattuisi liikkumaan vaihtoprosessin aikana. Erityisesti jälkimmäisen tilanteen riskiä on syytä välttää, sillä apurungon äkillinen putoaminen maasta nostetun maatuen varaan tai alustakoneen päälle saattaisi aiheuttaa vaaratilanteen käyttäjälle.

Kangenkäsittelijän tappeihin kiinnittyvien porausmoduulin tukitankojen alemmat korvakkeet tehtiin ohjaimen takareunaan hieman yläpään kiinnitystä leveämmälle, jotta sivukal-

listusrungolle jäisi riittävästi tilaa porausmoduulin kiinnitysvaiheessa. Tukitankojen alapään pallonivelen liikevara huomioitiin korvakkeen suunnittelussa siten, että tanko on mahdollista kääntää maahan tai telineeseen lisättävään korvakkeeseen silloin kun porausmoduuli ei ole tuettuna telineeseen. Sokkatapilla kiinnitetty tanko on helposti irrotettavissa, jolloin esimerkiksi vaurioituneen tangon vaihtaminen onnistuu nopeasti.

Näkyvyys

Ohjaamosta katsottuna teline jää täysin apurungon katveeseen, minkä vuoksi kummankin takamaatuen luokse voidaan sijoittaa tarvittaessa kamerat, jotka kuvaavat törmäyspisteitä. Lisäkamerat takaisivat näköyhteyden toiminnan kannalta kriittisiin osiin koko ohjaamosta operoinnin ajan. Lisäkameroita voitaisiin käyttää apuna myös normaalissa siirtoajossa kääntämällä ne taaksepäin. Aluksi kuitenkin kokeillaan riittääkö peruutuskameran siirto porausmoduulista kallistusrungon alle. Tästä kuvakulmasta porausmoduulin teline näkyy paremmin ja samalla vähennetään tarvittavien kameroiden määrää ja moduulin vaihdossa tarvittavia liitoksia.

Paikoituksessa tarvittavien hydraulisten toimintojen käyttö onnistuu nykyisessä järjestelmässä vain koneen ohjaamosta. Näköyhteyden puuttuminen liikkeitä käytettäessä aiheuttaa merkittävää epätarkkuutta, minkä vuoksi erillisen, tarvittavat toiminnot sisältävän kauko-ohjaimen kehittäminen helpottaisi ja nopeuttaisi paikoitusta. Samalla ohjaamon ja koneen takaosan välillä tapahtuvasta liikkumisesta aiheutuvat tapaturmariskit vähenisivät. Kauko-ohjaimella hallittavat toiminnot mahdollistavat kuitenkin käyttäjän toiminnan liikkuvien koneenosien alueella, jossa esimerkiksi puristumisvaara on ilmeinen. Kauko-ohjauksen toiminnan suunnittelu ja siihen liittyvistä riskeistä tiedottaminen on syytä tehdä erittäin huolellisesti. Kauko-ohjauksen puuttuminen johtaa kuitenkin helposti tilanteeseen, jossa toinen henkilö otetaan tähyistäjäksi vaara-alueelle ja toinen käyttää konetta ohjaamosta. Kauko-ohjauksen tarvetta päätettiin kuitenkin arvioida ensin testauksen perusteella.

5.7 Hydrauliikka

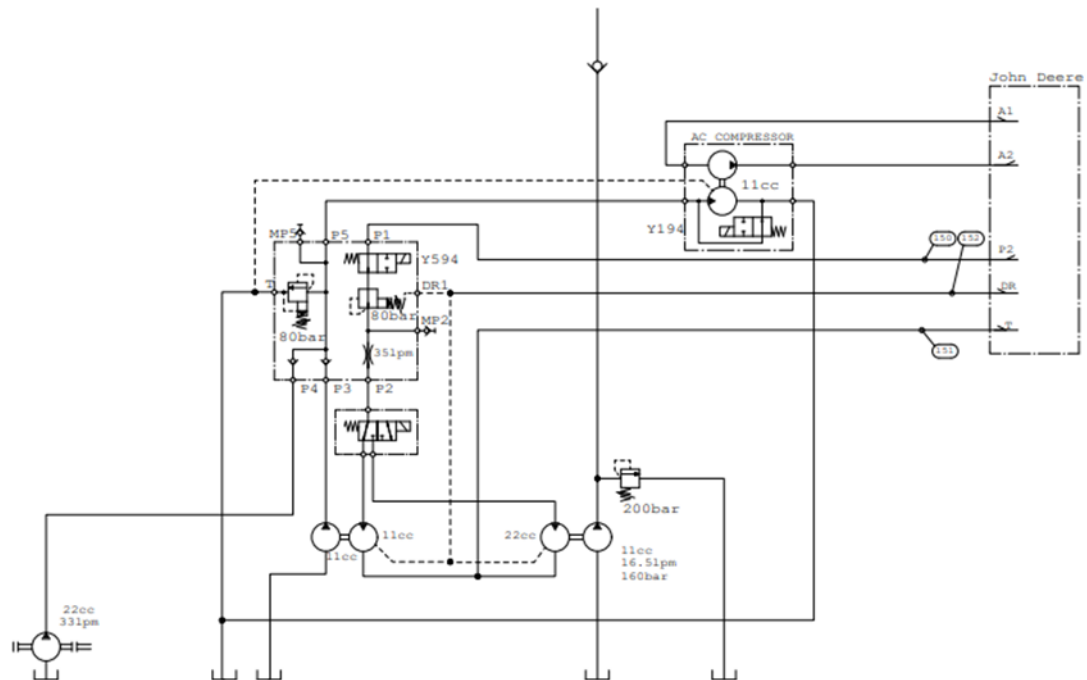
Rhino 100:ssa on kaksi erillistä hydraulijärjestelmää, joista toinen on kaivosvarustelun käyttöön tarkoitettu ja toinen alustan oma, siirtoajon aikaiseen käyttöön tarkoitettu järjestelmä. Alustakoneen ja kaivosvarustelun hydraulijärjestelmät on haluttu säilyttää erillään puhtauden ja toimintavarmuuden takaamiseksi. Erityisesti kaivosvarustelun kokemien haastavien olosuhteiden vuoksi öljyn puhtausongelmat ja vesipitoisuus saattavat nousta joskus huomattavan suuriksi ja vikaantumiset yleistyä. Erillisten järjestelmien avulla viat

pyritään rajaamaan TRB:n kehittämään kaivosvarustelun järjestelmään, jolloin koneen korjaus helpottuu ja riskit pienenevät.

Porausmoduuli on vaihtotavasta riippumatta ajettava pois kuljetusasennosta kiinnityskorvakkeiden sisempien ruuvien irrottamiseksi. Pystyynnostosylinterien, kuten kaikkien muidenkin takarungolla sijaitsevien hydraulisten toimintojen käyttö, vaatii nykyisessä järjestelmässä koneen sähkönsyötön kytkemisen. Uusien vaihtopaikkavaatimusten mukaan sähkönsyöttöä ei voida kuitenkaan vaatia, vaan on kehitettävä vaihtoehtoinen ratkaisu hydraulisten toimintojen käyttämiseksi. Myös asiakkailta saadun palautteen perusteella, tiettyjen toimintojen käyttäminen haluttaisiin mahdollistaa esimerkiksi sähkökatkojen aikana ja siirtoajossa turvallisuuden varmistamiseksi.

Erillisten hydraulijärjestelmien vuoksi alustakoneen dieselmoottorilla pyöritettävän pumpun tuottoa ei voida ohjata toiseen järjestelmään, vaan on käytettävä nimenomaan tehoyksikön hydraulioöljyä. Kyseinen ongelma on jo ratkaistu ohjaamon jäähdyttämiseen käytettävän ilmastoinnin kompressorin pyöryksessä. Tehoyksikköön sijoitettu kompressor on kytketty mekaanisesti hydraulimoottoriin, jota pyöritetään tehoyksikön öljyllä. Dieselmoottorin käydessä tätä hydraulitehoa tuottava pumppu saa käyttövoimansa alustakoneen hydraulikalla pyöritettävästä moottorista. Dieselmoottorin ollessa sammutettuna, vastaava kompressorin pyörittämiseen tarvittava tuotto saadaan tehoyksikön sähkömoottorin pyörittäältä pumpulta. Tällaisen tehonsiirtotavan häviöiden osuus on suuri, mutta niiden merkitys pienitehoisessa, tai harvoin käytettävässä järjestelmässä kuitenkin erittäin vähäinen. Kuvassa 5.16 näkyvät tähän järjestelmään tehdyt lisäykset, jotka mahdollistavat poralaitteen hydraulisten toimilaitteiden käytön vaihtotilanteessa. Tässä ratkaisussa alustakoneelta tuleva öljy ohjataan suuntaventtiilillä ilmastointia käyttävän moottori-pumppupaketin sijaan toiselle moottori-pumppupaketille. Viimeksi mainitun paketin kierrostilavuussuhteen ansiosta maksimipainetaso saadaan nostettua 160 bar:iin,

joka riittää hyvin vaihtotapahtuman liikkeen toteuttamiseen. Liikenopeudet jäävät tällä ratkaisulla melko hitaiksi, mikä saattaa olla turvallisuuden kannalta hyvä ominaisuus.



Kuva 5.16 Hydrauliiikan varajärjestelmän lisääminen nykyiseen tehoyksikköön (TRB-Raise Borsers Oy 2019).

Ilmastoinnin moottori-pumppupakettia ei voitu hyödyntää porausmoduulin vaihdossa, sillä sen 80 bar:n painetaso ei olisi riittänyt pystyynnoston ja maatumien käyttöön. Toisaalta muutokset haluttiin suunnitella siten, että hydrauliiikan varajärjestelmä on kohtuullisella vaivalla ja kustannuksella tehtävissä myös jälkiasennuksena

5.8 Vesijärjestelmä

Vesijärjestelmän muutokset keskittyvät pikaliitinrajapinnan suunnittelun lisäksi apurungolle, putkimakasiinin taakse asennetun huuhteluvesipumpun valintaan. Ylöspäin porattaessa tarvittava suurempi paine ja alaspäin porattaessa vaadittu suuri tilavuusvirta ovat johtaneet asiakkaan valitsemalle poraussuunnalle optimaalisen pumpun asennukseen. Pumpun sijainnin vuoksi, vesipumppumoduulin vaihto porausmoduulia vaihdettaessa ei tule kysymykseen, vaan on todennäköisesti tehtävä kompromissiratkaisu.

Yhtenä vaihtoehtona on kahden erillisen huuhteluvesipumpun asentaminen apurungolle, jolloin voitaisiin käyttää aina tilanteeseen sopivaa pumppua. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin tilanpuute, joka johtaisi useiden apurungolle asennettujen komponenttien uudelleensijoitteluun. Alaspäin poraavan koneen vesipumppua voidaan tämän vuoksi pitää

ensisijaisena vaihtoehtona, sillä se helpottaa kokoonpanoa ja riittää useimpiin tapauksiin. Valmistettavat koneet räätälöidään joka tapauksessa asiakkaiden tarpeiden mukaan, jolloin voidaan tarvittaessa lisätä huuhtelupainetta korottava pumppu.

5.9 Muutostarpeet jälkiasennuksessa

Toistaiseksi toimitettuihin kolmannen sukupolven Rhino 100 -koneisiin on ollut mahdollista valita lisävarustelistalta kohta ”Plug & Drill Readiness,” joka tarkoittaa, että koneeseen on asennettavissa tässä opinnäytetyössä kehitettävä parannettu porausmoduulin vaihdettavuusvarustelu. Jälkiasennuksissa jo toimitettuihin koneisiin joudutaan arvioimaan, muutetaanko koneessa olevia osia, vai vaihdetaanko ne kokonaan. Kaivosten lähialueen resurssit osien työstämiseen ovat yleensä melko heikot, minkä vuoksi on todennäköisempää, että jopa joitakin runko-osia on taloudellisempaa vaihtaa, kuin muokata. Pienemmät toimenpiteet, kuten hitsaaminen ja kierrereikien tekeminen puolestaan onnistuvat mukana kuljetettavilla työkaluilla.

Ensimmäinen vaihe jälkiasennuksessa on porausmoduulin irrotus, johon vaaditaan 11 tonnia nostava nosturi sekä työkalut vanhan ruuvirajapinnan, hydraulikan ja sähköjen liitosten aukaisuun. Koneen päältä voidaan tarpeen mukaan irrottaa putkimakasiini ja katteita hydraulikan ja huuhteluvesijärjestelmän muutosten tekoa varten. Suurimman muutostarpeen aiheuttaja jälkiasennuksessa on sivukallistusrungon ruuvirajapinnan levenyminen, joka vaatii sivukallistusrungon ja porausmoduulin korvakkeiden vaihtamisen. Lisäksi kangenkäsittelijän varret on vaihdettava tai koneistettava apurungon puoleisen rajoitinpalan siirron vuoksi ja varsien tapit vaihdettava tukitankojen kiinnityspisteiden lisäämiseksi.

Hydraulikan ryhmäpikaliittimien ja erillisten suurempien liittimien asennus vaatii johdepalkkeihin ja apurungolle tulevien läpivientilevyjen kiinnittämisen, sekä lukuisia muutoksia porausmoduulin ja apurungon välisiin letkuihin. Muutokset tarkentuvat uuden koneen asennusvaiheessa tehtävien havaintojen perusteella. Tällöin myös sopivien letkujen va-

raaminen jälkiasennustehtävään mahdollistuu. Sivukallistusrungon vaihto vaatii joka tapauksessa kaikkien porausmoduuliin kulkevien letkujen väliaikaisen poistamisen, jolloin letkujen uusimisesta aiheutuva lisätyö ei ole kovin suuri.

5.10 Irrotus ja kiinnitys

Porausmoduulin irrotus ja kiinnitys tehdään kuvien 5.17–5.19 mukaisesti. Ensin peruutetaan kone telineen ohjaimen määrittämään asemaan. Seuraavaksi nostetaan apurunko ylös, käännetään porausmoduuli pystyyn ja lasketaan apurunkoa kunnes lattiatuet ovat sopivasti kannatuksella telineen päällä.



Kuva 5.17 Törmäys telineeseen.

Porausmoduuli tuetaan tukitankojen ja lukituskynsien avulla, minkä jälkeen irrotetaan letkut, johdot ja kiinnitysrajoituksen ruuvit. Irrotuksen jälkeen apurunko lasketaan alustakoneen kyytiin ja nostetaan maatuot ylös.



Kuva 5.18 Porausmoduulin tuenta ja irrotus.

Lopuksi ajetaan kone toisen porausmoduulin luokse ja suoritetaan kiinnitys päinvastaisessa järjestyksessä.



Kuva 5.19 Ajo toisen porausmoduulin luokse.

5.11 Käytettävyys

Järjestelmän toiminnan suunnittelu käyttäjän näkökulmasta loogiseksi, on turvallisuuden ja työn sujuvuuden kannalta tärkeää. Tietämättömyydestä johtuvien väärinkäyttötapausten vähentäminen on tehokkainta nimenomaan yksinkertaistamalla järjestelmää, eikä niinkään lisäämällä käyttöohjeita. Turvallistamisen periaatteiden mukaan riskejä on ensisijaisesti pyrittävä poistamaan suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Ne riskit, joita ei voida poistaa, on pyrittävä välttämään suojaustoimenpiteillä. Jäännösriskeistä, eli suojauksen vajavaisuuksista johtuvista vaaroista on tiedotettava käyttäjää esimerkiksi käyttöohjeen, varoituskylttien ja koulutuksen avulla. (Koneasetus 2008)

Porausmoduulin paikoituksessa ja tuennassa on pyritty selkeisiin ja varmatoimisiin mekaanisiin ratkaisuihin intuitiivisen toiminnan helpottamiseksi. Tehtävien muistamista helpotettiin pitämällä vaihtoprosessi mahdollisimman samanlaisena eri porausmoduulien kohdalla. Koneen omien hydraulisten toimilaitteiden käyttö porausmoduulin vaihdossa auttaa myös operaattorin toimintaa, sillä liikkeet ovat tuttuja jokapäiväisestä työnteosta. Turvallisuutta ja työn helppoutta parantaa panostaminen liitäntöjen selkeyteen ja komponenttien toimintaan. Myös ruuvirajapinnan koneellinen kiristäminen helpottaisi työtä vähentämällä voimankäyttöä ja koneen päällä kiipeilyä.

Käytettävyiden kannalta heikoimmat ominaisuudet uudessa järjestelmässä ovat mekaanisen rajapinnan kiinnitettävyys ja paikoitettavuus. Ruuveilla tehtävä kiinnitys on hidas ja tarkan paikoitusvaatimuksen vuoksi hankala käyttää. Normaalissa käytössä hyvin toimivaa rajapintaa ei kuitenkaan haluttu uudistaa merkittävästi pelkän porausmoduulin vaihto-option vuoksi. Porausmoduulia kiinnitettäessä, pituussuuntainen paikoitus on haastavaa mekaanisilla tukitangoilla. Tuennassa käytettyjä vanttiruuveja ei ole tarkoitettu säädettäväksi kuormituksen alaisina, jolloin korjausliikkeitä voidaan joutua tekemään ajamalla. Standardikiinnityksellä varustetut työntövarret voidaan kuitenkin helposti korvata kuormanlaskuventtiileillä varustetuilla hydraulisylintereillä tai valmiilla hydraulisilla työntövarsilla.

5.12 Parannetun vaihdettavuuden arviointi

Työn tarkoituksena oli kehittää Rhino 100 -avausnousunporauslaitteen porausmoduulin vaihdettavuus muuttuneiden vaatimusten mukaiseksi. Uuden toimintaperiaatteen suunnittelussa tutustuttiin systemaattiseen suunnitteluprosessiin, käytettyihin porausmenetelmiin, kilpailijoiden tuotteisiin ja erityisesti suunnittelun kohteena olevaan Rhino 100-avausnousunporauslaitteeseen. Kilpailevien koneiden vähäisen lukumäärän vuoksi kun-

nollista referenssiä nykyistä paremmasta ratkaisusta ei löydetty. Erillisiä porausmoduuleja voidaan kuitenkin pitää perusteltuna ratkaisuna, sillä porausmoduulin optimointi tiettyyn porausmenetelmään parantaa koneen toimintaa vähentämällä porausprosessissa tehtyjä kompromisseja. Toisaalta Rhino 100:ssa porausmoduulin vaihto-option kysyntää rajoittaa oletettavasti eniten toisen porausmoduulin hankintahinta ja asiakkaiden halu varmistua ensin koneen toiminnasta. Kaivosalalla yritykset seuraavat toistensa ratkaisuja ja esimerkiksi uusien koneinvestointien toimintaa, minkä vuoksi yhden asiakkaan vakuuttaminen saattaa edesauttaa myös muita kauppia. Porausmoduulin vaihdettavuusoption jälkiasennusmahdollisuutta voidaan pitää hyvänä lisänä, sillä tällöin varovaisille asiakkaille tarjoutuu mahdollisuus päivittää koneensa myöhemmin, kun poralaite on muuten todettu sopivaksi. Lisäksi on tärkeää hyödyntää jo toimitettujen koneiden potentiaali vaihdettavuusoption myynnissä pitämällä lupaukset Plug'n'Drill readiness -option mukaisesta jälkiasennettavuudesta. Option jälkiasennettavuutta siis tarvitaan, vaikka asennusten tekeminen käytettyyn koneeseen onkin työläämpää kuin tehtaalla.

Vanhan vaihtomenetelmän suurin ongelmakohta on porausmoduulin nostamiseen soveltuvan nosturin tarve, jonka vuoksi vaihto vaatii huoltohallin resurssien tai mobiilinos- turin käyttöä. Uudessa menetelmässä ilman nosturia tehtävä rajapintojen kohdistus hi- dasti ruuvirajapinnan kiinnitystä hieman, mutta ajankäyttö saatiin kuitenkin pysymään kohtuullisena parempien liitosrajapintojen ansiosta. Tehtaalla suoritetuissa testeissä vaihto suoritettiin jopa alle puolessa tunnissa, eikä asiakkaillakaan kulunut vaihtoon yli kahta tuntia. Yhden työvuoron mittainen aikavaatimus alitettiin siis selvästi. Ensimmäi- nen Plug'n'Drill-varustelua, eli parempaa porausmoduulin vaihdettavuutta käyttänyt asia-

kas, australialainen Barmenco Ltd. (2019), kertoo suoriutuvansa neljässä tunnissa edellisen porauspaikan lopetuksesta moduulin vaihdon kautta uudelle porauspaikalle. Kuussa 5.20 on Barmencon Rhino 100 porausmoduulin vaihdossa.



Kuva 5.20 Ensimmäinen asiakkaalle toimitettu Plug'n'Drill-kone (Barmenco 2019).

Rajapintojen kehittäminen helppokäyttöisiksi kannatti, sillä vaihtonopeuden lisäksi pysyttiin vaatimuksessa vaihdosta yhden operaattorin työpanoksella. Asiakaskin mainitsee etuna sen, ettei vaihdossa tarvita huoltoon tai sähkötöihin erikoistunutta henkilöstöä, vaan vaihto sujuu muun operoinnin tapaan yhden operaattorin työpanoksella (Barmenco 2019).

Porausmoduulin vaihdon ja säilytyksen aikaiseen tuentaan suunniteltiin uusi teline. Monet telineen suunnitteluun vaikuttavat tekijät, kuten samanaikainen perinteisen porausmoduulin suunnittelu, vaihtopaikan olosuhteet, telineen siirtämisen tarve ja uuden paikoitustavan toimivuus aiheuttivat epävarmuutta päätöksissä. Parhaana ratkaisuna tähän tilanteeseen nähtiin ruuvirajapintojen avulla toteutettu teline, jonka yksittäisiä osia voidaan muuttaa ilman koko rakenteen uudistamistarvetta. Samalla asiakkaan luona tapahtuvan yksinkertaisen koottavuuden vuoksi telineen kuljetus pysyi edullisena ja joustavana. Porausmoduulin tuentaan valitut vanttiruuvityyppiset tukitangot ovat hankalia säätää kuormitettuna, mikä saattaa aiheuttaa haasteita porausmoduulin kiinnitysrajapinnan kohdistuksessa. Standardoituja rajapintoja hyödyntävät tukitangot on kuitenkin helppo korvata hydraulisilla, mikäli muutos katsotaan myöhemmin tarpeelliseksi.

Suurin ajansäästö- ja kehityspotentiaali nähtiin hydrauliiikan rajapinnan muuttamisessa kierrettävistä liitoksista ryhmäpikaliittimillä ja erillisillä pikaliittimillä toteutetuksi. Koneen hydrauliiikan analysointi johti nykyisen kaltaisessa letkutuksessa pitäytymiseen, jolloin

tehtäväksi jäi pikaliitinrajapintojen lisääminen johdepalkkien kyljille. Markkinoilla olevien ryhmäpikaliittimien tarjontaa tutkimalla päätettiin jättää suurimmat linjat pois ryhmäpikaliittimestä, jolloin yhden suuren ryhmäpikaliittimen asennus kummallekin puolelle konetta riitti. Väärän kytkennän estämisessä onnistuttiin täysin suunnittelemalla erilleen jäävien linjojen pikaliittimet uros-naaras eroa hyödyntäen. Hydraulikan muutoksissa onnistuttiin pääosin hyvin ja käyttäjät ovat olleet tyytyväisiä rajapinnan toimivuuteen. Ensimmäistä moduulia lähetettäessä kuitenkin mietittiin, että johdepalkkien sivulla olevat komponentit olisi kannattanut suunnitella niin kapeiksi, että porausmoduuli mahtuisi tavalliseen konttiin ilman hydraulikan liitosten avaamista. Nyt tehdyillä ratkaisuilla joudutaan turvautumaan kalliimpaan flat-alustaan, eli sivuilta ja päältä auki olevaan konttiin, jolloin kappaleen leveys ei ole niin rajoitettu ja lastaus on helpompaa. Testattua hydraulijärjestelmää ei haluta purkaa kuljetusta varten, koska silloin vaadittaisiin uusi testaus ennen käyttöönottoa.

Käytettävyyttä pyrittiin kehittämään loogiseksi ja varmatoimiseksi operaattorin työkuorman keventämisen ja turvallisuuden edistämisen vuoksi. Porausmoduulin tuenta ja paikoituksessa avustava telineen mekaaninen ohjain ovat helppokäyttöisiä ratkaisuja, jolloin satunnaisestikin tehtävä työ sujuu ilman yksityiskohtaisten ohjeiden selaamista.

Kokonaisuudessaan voidaan sanoa, että asetettuihin haasteisiin kyettiin vastaamaan monilla suunnittelutoimenpiteillä jättäen samalla parantamismahdollisuuksia kohteisiin, joiden kehittämistä ei katsottu tässä vaiheessa kannattavaksi. Koneen toimivien ominaisuuksien ja kilpailuetujen säilyttämisessä onnistuttiin hyvin, mutta samalla jouduttiin tyytymään suunnitteluratkaisuihin, jotka eivät välttämättä takaa kaikkea saavutettavissa olevaa tehokkuutta vaihtoprosessissa. Vaihdon sujuvuus ja nopeus yllättivät kuitenkin positiivisesti testausvaiheessa, niin tehtaalla kuin asiakkaidenkin luona, joten lopputulokseen voidaan olla tyytyväisiä.

6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli parantaa avausnousunporausrakenteen porausyksiköiden vaihdettavuutta suunnittelemalla uusi toimintaperiaate, jota voidaan myydä optiona. Tuotekehitysprosessin alkuvaiheeseen kuuluva markkinatutkimus ja asiakkaiden tarpeiden kartoitus oli suurelta osin tehty jo ennen tätä projektia. Myös avausnousunporausrakenteen tuotearkkitehtuuri oli määrätty ennen option kehittämistä, joten projekti voitiin aloittaa suoraan vaatimusten tarkemmasta määrittelystä ja konseptoinnista. Avausnousunporaustapoja ja markkinoilla olevia laitteita tutkimalla todettiin, että kilpailijoilla ei ole vastaavalla toiminnallisuudella, eli vaihdettavalla porausmoduulilla varustettua konetta. Avausnousunporausrakenteen toimintaan perehtymällä havaittiin, että porausmoduulin vaihtoon vaikuttavia tekijöitä on paljon, mutta aiempi suunnittelu on luonut kehitystyölle hyvän lähtökohdan.

Uusien vaatimusten mukaan nosturia ei ollut enää käytettävissä, joten porausmoduulin vaihdon ja säilytyksen aikainen tuenta ja liikkeet vaihtoprosessissa oli toteutettava uudella tavalla. Porausmoduulin vaihdossa tarvittavassa pystysuuntaisessa liikkeessä, sekä rajapintojen kohdistuksessa vaadituissa liikkeissä päätettiin hyödyntää koneen valmiita toimintoja. Samalla jouduttiin hyväksymään toivottua korkeamman vaihtopaikan tarve ja haastavampi kohdistustilanne. Tuennassa päädyttiin lukitsemaan pystyynnostetun porausmoduulin lattiatuet palkkirakenteisen telineen päälle ja kiinnittämään tukitangot porausmoduulin ja telineen välille.

Vaihtoaikaa haluttiin lyhentää kasvaneista tuennan ja kohdistuksen haasteista huolimatta. Merkittävin työn sujuvuutta edistävä uudistus on hydraulikan rajapintaan lisätyt pikaliittimet, joiden kytkentäjärjestys perustuu merkintöjen sijaan liittimien muotoon. Peruutuksessa avustava ohjainpalkki, kiinnitysrajapinnan ohjauskartiot ja paremmin sijoitettu peruutuskamera säästävät myös operaattorin aikaa. Ensimmäiset asiakkaan käyttökokemukset ovat osoittaneet uuden option toimivan hyvin, mikä näkyy alle kahden tunnin mittaisena vaihtoaikana jo ensimmäisillä vaihtokerroilla. Taulukossa 6.1 on vielä tiivistetty projektin tärkeimmät kohdat.

Taulukko 6.1 Projektin tärkeimmät huomiot.

Tärkeimmät tavoitteet	Porausmoduulin vaihdettavuuden parantaminen, vaihtoprosessin muuttaminen ilman nosturia toimivaksi
Suunnitteluperusteet	Turvallisuus, vaihtoajansäästö, toimivuus
Suunnitteluprosessi	Systemaattinen suunnittelu konseptoinnista tuotteeksi
Toimintaperiaate	Porausmoduulin tuenta säilytystelineeseen lattiatukien alta ja kangenkäsittelijän tapeista, koneen omien hydraulisten toimintojen hyödyntäminen, tehontuotto dieselmoottorin avulla ilman koneen ulkopuolisen avun tarvetta
Suurin haaste	Mekaanisen rajapinnan kohdistus ilman nosturia
Suurin ajansäästö	Hydrauliikan pikaliitinrajapinnan kehittäminen
Vaihtoaika	Uudella toimintaperiaatteella alle 2 tuntia
Potentiaaliset kehitystarpeet	Porausmoduulin tukitankojen muuttaminen hydraulisiksi, lisäkamerat
Jatkotoimenpiteet	Käyttökokemusten kerääminen, tarvittavien muutosten tekeminen, jälkiasennettavuuden viimeistely

LÄHTEET

Al-Bahar (2020). Couplers–Excavator. Saatavissa (viitattu 20.7.2020): <https://www.al-bahar.com/products/new/work-tools/category/couplers-excavator/current/405/421/>.

Andersen Mek. Verksted AS (2020). Our history. Saatavissa (viitattu 25.5.2020): <https://www.amv-as.no/our-history>.

Atlas Copco (2018). Markkinointimateriaali.

Barmingo Ltd. (2019). Barmingo Rhino – downhole reaming module. Saatavissa (viitattu 27.4.2020): <https://www.youtube.com/watch?v=wYo5lAwTVYk>.

Byrncut Australia (2020). Weller 750 boxhole. Saatavissa (viitattu 25.5.2020): <https://www.byrncut.com.au/services/d0585/>.

Epiroc Ab (2020). Easer L. Saatavissa (viitattu 1.6.2020): <https://www.epiroc.com/en-cd/products/raiseboring/easer-l.fr-cd>.

Hakapää, A., Lappalainen, A., Kaivannaisteollisuusyhdistys, Opetushallitus (2011). Kaivos- ja louhintatekniikka, Helsinki: Kaivannaisteollisuus; Opetushallitus, 388 s.

John Deere Forestry (2020). John Deere 1910G esite. Saatavissa (viitattu 21.7.2020): <https://www.deere.fi/assets/publications/index.html?id=0f41a3a8#2>.

Koneasetus (2008). L 12.6.2008/400. Saatavissa (viitattu 4.5.2020): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>.

Korpinen, J. (2017). Jälkimarkkinointi yhä tärkeämpää, Kauppalehti, päivitetty 11.12.2017. Saatavissa (viitattu 18.5.2020): <https://blog.kauppalehti.fi/alykkaampaa-logistiikkaa/jalkimarkkinointi-yha-tarkeampaa>.

Lehtonen, T., Juuti, T., Oja, H., Suistoranta, S., Pulkkinen, A., Riitahuhta, A. (2011). A framework for developing viable design methodologies for industry, 12 p.

Logistiikan Maailma (2020). Kontti. Saatavissa (viitattu 20.7.2020): <http://www.logistiikanmaailma.fi/kuljetus/merikuljetus/kontti/>.

McGrath, M., Anthony, M., Shapiro, A. (1992). Product development: success through product and cycle-time excellence, Boston: Butterworth-Heinemann, 260 p.

Mela, J., Juuti, T., Lehtonen, T., Riitahuhta, A. (2009). Next generation business oriented and user centered design management approach, 12 p.

Mining Journal (2019). Mining market positive for lead Swedes, Mining Journal, päivitetty 22.7.2019. Saatavissa (viitattu 18.5.2020): <https://www.mining-journal.com/stocks-market-insight/news/1367808/mining-market-positive-for-lead-swedes>.

Pahl, G., Beitz, P. (1986). Konstruktionslehre, Handbuch für Studium in Praxis, 2. Auflage, Berlin: Springer, 465 p.

Suomenkielinen käännös (1990). ”Koneensuunnitteluoppi”, Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy, 608 s.

Pugh, S. (1991). Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering, Harlow: Addison-Wesley Publishing Company.

Redpath Mining Inc. (2020). Raiseboring. Saatavissa (viitattu 25.5.2020): <https://www.redpathmining.com/services/raiseboring/>.

Sandvik Mining and Construction Oy (2011). Yleiset kiristysmomentit, STA-02-041-1.

Sandvik Mining and Construction Oy (2013). Raise boring presentation, 66 p.

Sandvik Mining and Construction Oy (2020a). DL421 Top hammer longhole drill. Saatavissa (viitattu 18.5.2020): <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/products/underground-drill-rigs-and-bolters/pdf/dl421-specification-sheet-english.pdf>.

Sandvik Mining and Construction Oy (2020b). Top hammer longhole drill rigs. Saatavissa (viitattu 25.5.2020): <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-drill-rigs-and-bolters/top-hammer-longhole-drill-rigs/>.

Saxtorp Trading Ab (2020). Buckets. Saatavissa (viitattu 20.7.2020): <https://www.saxtorp.com/machine-category/machine-attachments/buckets-machine-attachments/>.

Suomen Sandvik Oy (2001). Animations, Sublevel stoping.

TRB-Raise Borers Oy (2019). Rhino 100 -materiaali.

Ulrich, K., Eppinger, S. (2008). Product design and development, Boston: McGraw-Hill, 368 p.

Valtra Oy (2020). Unlimited Studio. Saatavissa (viitattu 18.5.2020): <https://www.valtra.fi/traktorit/unlimited-studio.html>.

Vanhatalo, M. (2012). TTE-3011 Tuotekehitys -kurssin luentomateriaali, Tampereen teknillinen yliopisto.

Volvo Construction Equipment Finland Oy (2020). Työvälinekannattimet. Saatavissa (viitattu 20.7.2020) <https://www.volvoce.com/suomi/fi-fi/attachments/wheel-loader-attachments/attachment-brackets/>.